УДК 504.453: 556.55 (477.63)
DOI: 10.15587/2519-8025.2018.146274

СЕЗОННА ДИНАМІКА СПОЛУК МАНГАНУ І ФЕРУМУ У ПОВЕРХНЕВИХ ВОДАХ ВОДОЗАБОРУ ВІДСІЧНЕ Р. ТЕТЕРІВ

© Е. О. Аристархова

Мета дослідження *– визначення у поверхневих водах водозабору Відсічне р. Тетерів у 2012-2014 роках особливостей сезонної динаміки концентрацій сполук Мангану (Mn) і Феруму (Fe) та з'ясування їх кореляційних зв'язків з температурою води, водневим показником (pH), вмістом розчиненого кисню (РК), а також чисельністю домінуючих угруповань планктонних водоростей.*

Методи. *З водозабору (під час проведення заходів з очищення та поглиблення його донної частини) відбирали проби води (1 дм^3), у яких визначали концентрації сполук Mn й Fe колориметричними методами, РК – за допомогою вимірювача DO 4000, значення водневого показника – pH-метром, температуру – ртутним термометром. Для вивчення складу фітопланктону проводили гідробіологічний аналіз. Статистичну обробку даних здійснювали за програмою MO Excel 2003.*

Результати досліджень*. Концентрація у воді сполук Mn перевищувала ГДК$_В$ і мала два пікові значення влітку. Сполуки Fe також зустрічались у надмірній кількості, проте кожного року їх пік припадав на інший сезон. Виявлено вірогідні кореляції сильного і середнього ступенів концентрацій у воді Mn з температурою та РК. Показано тенденцію посилення кореляційних зв'язків концентрацій цих сполук із синьозеленими водоростями та послаблення – із зеленими. Взаємозв'язки сполук Fe із зазначеними показниками були загалом слабкішими порівняно із Mn, особливо з pH та планктонними водоростями. І лише у 2014-му році значення коефіцієнтів кореляцій Fe з темепературою та РК суттєво зросли.*

Висновки. *Встановлено, що у воді водозабору концентрації сполук Mn й Fe впродовж більшості сезонів переважали ГДК$_В$ (0,1 та 0,3 мг/дм^3 відповідно) у 2-8 разів. Найбільший вміст Mn припадав виключно на літні місяці, а Fe – на різні пори року. Зміни концентрацій Mn були значно сильніше пов'язані з температурою води (0,7029, p≤0,01 – у 2012-му і 0,6702, p≤0,05 – 2013-му роках) та РК (-0,6272, p≤0,05 – у 2012-му, -0,8752, p≤0,0001 – 2013-му і -0,6349, p≤0,05 – 2014-му роках), ніж зміни концентрацій Fe. Кореляційні зв'язки сполук Fe з цими показниками досягли вірогідності лише у 2014-му році (0,7326 та -0,7469 відповідно, p≤0,01). Сполуки Mn і Fe мали з усіх угруповань фітопланктону вірогідні зв'язки лише з синьозеленими водоростями (ціанобактеріями): Mn (0,6808, p≤0,05) – у 2014-му році та Fe (0,7410, p≤0,01) – у 2012-му році. За трирічний період досліджень зафіксовано послаблення зв'язків Mn з температурою води (на 28,54 %) і чисельністю зелених водоростей (на 65,63 %) та посилення – з чисельністю синьозелених (на 77,95 %), а також зростання залежності концентрацій сполук Fe від температури (на 79,12 %) та РК (на 95,77 %). Більшість з виявлених тенденцій (крім сезонної динамики Mn і його кореляційних зв'язків з температурою, РК та чисельністю синьозеленых) були нетиповими для водозабору і виникли, найімовірніше, внаслідок проведення заходів з очищення донної частини водойми та її поглиблення, що потягнуло за собою низку порушень стану водного середовища, у тому числі призвело у грудні 2012-го року до аномального підвищення чисельності синьозелених водоростей (до 91,06 тис. кл./дм^3)*

Ключові слова: *Mn, Fe, сезонні коливання, абіотичні показники, біотичні показники, кореляційні зв'язки*

1. Вступ

Надходження важких металів (ВМ) у поверхневі води річок та водойм набуло нині в Україні глобального характеру і для багатьох водних екосистем є реальною загрозою їх деградації. Одним з розповсюджених шляхів потрапляння сполук ВМ у водне середовище вважається техногенний, тобто досить часто вони виносяться у водні об'єкти у складі стічних вод збагачувальних фабрик, металургійних та хімічних заводів, разом з шахтними водами, стоками сільськогосподарських і комунальних підприємств тощо [1, 2]. Проте у ряді регіонів досить актуальним залишається і природний шлях, обумовлений вимиванням ВМ з ґрунтів, виділенням їх з донних відкладів та деяких інших джерел [1, 3]. До того ж сполуки ВМ активно включаються у біогеохімічний колообіг за участю гідробіонтів, використовуються ними для забезпечення метаболічних функцій, нагормаджуються у тканинах та органах внаслідок високих кумулятивних властивостей, надходять у воду за розпаду тваринних і рослинних організмів [4, 5]. Тому у разі систематичного перевищення у водному середовищі ГДК$_В$ окремих ВМ, які мають природне походження, саме на них варто звертати особливу увагу під час проведення моніторингових досліджень. Тим більше, що іноді природні ВМ є єдиними сполуками цього класу, які перевищують нормативи. Так, на Поліссі України майже в усіх річках концентрації сполук Mn і Fe у певні сезони року бувають суттєво вищими за ГДК$_В$, що значно рідше спостерігається з ВМ техногенного походження [6]. Подібні явища вимагають детального вивчення сезонної динаміки Mn і Fe та визначення їх зв'язків з найбільш вагомою біотичною складовою, здатною впливати на зміну вмісту цих сполук у водному середовищі.

2. Літературний огляд

За даними літературних джерел, підвищені концентрації сполук Mn і Fe у поліських водних об'єктах зумовлені притаманними регіону заболоче-

ністю їх басейнів, залісненістю, наближенням до них ілювіальних горизонтів дерново-підзолистих ґрунтів, що вважаються основними природними факторами ризику забруднення вод цими сполуками. Особливо несприятливими, на думку фахівців, є зазначені чинники для водосховищ та інших водойм з обмеженим водообміном, у яких Mn й Fe здатні депонуватися у малорухливих шарах донних відкладів і з підвищенням температури знов повертатися у воду [1, 6].

Особливості сезонних коливань за підвищених концентрацій сполук Mn і Fe у водоймах одні автори пояснюють періодичним виходом цих ВМ з донних відкладів, вимиванням їх з лісової підстилки та залізо-марганцевих конкрецій ґрунту [1, 6], а інші – вказують на причетність до зазначених процесів гідробіонтів, перш за все планктонних водоростей, як обов'язкової складової [7, 8].

У водних екосистемах Mn й Fe повинні відігравати важливу позитивну роль, оскільки належать до есенціальних елементів і використовуються живими істотами для синтезу сполук із специфічними функціями (ферментів, вітамінів, гормонів), до того ж беруть участь у реакціях фотосинтезу і фотолізу води, забезпечують виділення кисню тощо [3, 5]. Проте перевищення їх концентрацій понад $ГДК_В$ негативно відбивається не тільки на стані окремих організмів, популяцій й біоценозів, але й може суттєво змінювати органолептичні властивості води і підвищувати її токсичність [9]. Навіть після очищення в умовах водоканалу така вода буває непридатною для вживання людиною і тваринами [3, 10]. Це викликає необхідність, перш за все у водоймах питного водопостачання, постійно контролювати вміст сполук Mn і Fe, одночасно враховуючи показники якості води, за впливу яких може посилюватись небезпечна дія цих ВМ на живі організми [11, 12].

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – визначення у поверхневих водах водозабору Відсічне р. Тетерів у 2012–2014 роках особливостей сезонної динаміки концентрацій сполук Mn і Fe та з'ясування їх кореляційних зв'язків з температурою води, водневим показником, вмістом розчиненого кисню, а також чисельністю домінуючих угруповань планктонних водоростей.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Вказати особливості сезонних коливань концентрацій сполук Mn і Fe у водах водозабору.

2. Порівняти існуючі кореляційні зв'язки Mn і Fe з абіотичними показниками водного середовища, здатними здійснювати на них суттєвий вплив (температурою, pH та концентрацією РК).

3. Проаналізувати взаємозв'язки Mn і Fe з чисельністю клітин переважаючих у водозаборі угруповань планктонних водоростей (діатомових, зелених, синьозелених) як важливою біотичною ланкою.

4. Зазначити основні тенденції та пояснити причини їх виникнення щодо посилення та послаблення з роками кореляційних зв'язків між вмістом сполук Mn і Fe та показниками, під впливом яких ці сполуки перебували.

4. Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводили за участю співробітників КП «Житомиводоканал» з використанням загальноприйнятих методик [2, 12]. Відбір проб води (1 $дм^3$) здійснювали з водозабору Відсічне р. Тетерів, що є джерелом водопостачання м. Житомира, під час проведення на водоканалі заходів з очищення донної частини водойми та її поглиблення.

Вміст сполук Mn і Fe у воді визначали колориметричними методами [2]: Mn – у кислому середовищі персульфату калію за присутності срібла як каталізатора, Fe – у лужному середовищі з сульфасаліциловою кислотою.

Концентрацію розчиненого у воді кисню контролювали за допомогою вимірювача DO 4000 Dissolved Oxygen Meter, значення водневого показника – pH-метром мілівольтметром 121, температуру – ртутним термометром типу ТМ-10 з ціною поділки 0,2 °С.

Вивчення якісного та кількісного складу планктонних водоростей у водозаборі проводили шляхом гідробіологічного аналізу. Основний метод аналізу полягав у концентрації фітопланктону на мембранних фільтрах і підрахунку кількості водоростей в кл./$дм^3$ з визначенням до виду у камері Нажотта.

Статистичну обробку даних проводили за допомогою стандартної комп'ютерної програми Microsoft Office Excel 2003 з використанням критерію вірогідності Стьюдента.

5. Результати досліджень та їх обговорення

Дослідження сезонної динаміки Mn і Fe у водозаборі Відсічне р. Тетерів у 2012–2014 роках виявило суттєву різницю у тенденціях їх коливань. Так, найбільший вміст у воді сполук Mn впродовж досліджень спостерігався у літні місяці зі спадом у липні і у більшості відібраних проб суттєво перевищував $ГДК_В$ (0,1 мг/$дм^3$). Сполуки Fe також знаходились у воді переважно у надмірній кількості (понад $ГДК_В$ 0,3 мг/$дм^3$). У різні роки їх найбільший вміст зустрічався: у 2012-му – у жовтні, 2013-му – у квітні, 2014-му – у червні.

Сезонні зміни концентрацій сполук Mn та Fe, що відбувались у водозаборі, відображено на рис. 1, *а, б*.

Зазначені нами особливості сезонної динаміки концентрацій у воді сполук Mn і Fe вказують на взаємодію цих ВМ з певними чинниками середовища. За допомогою кореляційного аналізу нам вдалося визначити фактори, які значно більше, ніж інші, були пов'язані з вмістом у воді дослідних сполук: серед абіотичних – температура, водневий показник та концентрація розчиненого кисню (табл. 1), серед біотичних – домінуючі у водозаборі угруповання фітопланктону (табл. 2).

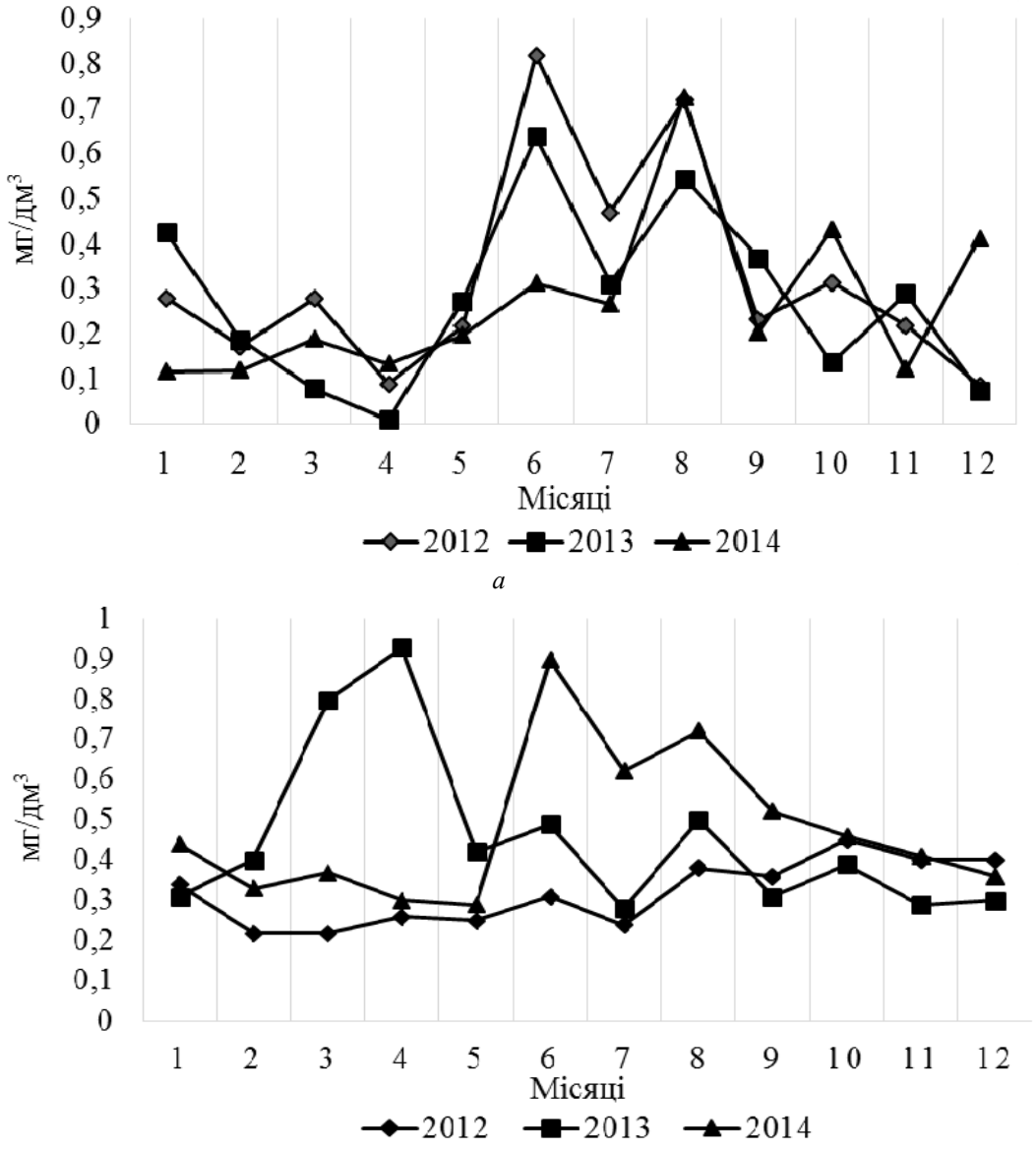

Рис. 1. Сезонна динаміка концентрацій сполук у водозаборі Відсічне р. Тетерів впродовж 2012–2014 років: *а* – Mn*; б* – Fe

Таблиця 1

Кореляційні зв'язки концентрацій сполук Mn і Fe з температурою, pH та вмістом РК у водозаборі Відсічне р. Тетерів у 2012–2014 роках

Концентрація, мг/дм^3	Показники		
	T,ºC	pH	РК, мг/дм^3
2012			
Манган	0,7029	–0,2534	–0,6272
Ферум	0,1530	0,3699	0,0316
2013			
Манган	0,6702	0,3550	–0,8752
Ферум	0,2309	–0,5433	0,2392
2014			
Манган	0,5023	0,0949	–0,6349
Ферум	0,7326	–0,2145	–0,7469

У дослідженнях було доведено наявність вірогідних кореляцій сильного і середнього ступенів: позитивних – між концентрацією у воді сполук Mn і температурою (0,7029±0,2249, p≤0,01 – у 2012-му, 0,6702±0,2347, p≤0,05 – у 2013-му), а також негативних – між Mn і РК (–0,6272±0,2463, p≤0,05 – у 2012-му, –0,8752±0,1530, p≤0,001 – у 2013-му, –0,6349±0,2443, p≤0,05 – у 2014-му роках). Порівняно із сполуками Mn вказані фактори значно менше впливали на концентрацію сполук Fe у водозаборі, особливо у 2012-му і 2013-му роках. Однак поступово посилюючись, зв'язки Fe з температурою води та концентрацією РК у 2014-му році все ж таки набули вірогідності (0,7326±0,2152 і -0,7469±0,2103, p≤0,01 відповідно). Кореляції обох ВМ з водневим показником не перевищували середніх ступенів і виявились невірогідними.

Взаємозв'язки сполук Mn і Fe з основними біотичними чинниками середовища – угрупованнями фітопланктону, представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Кореляційні зв'язки концентрацій сполук Mn і Fe з чисельністю домінуючих планктонних водоростей у водозаборі Відсічне р. Тетерів у 2012–2014 роках

Концентрація, мг/дм^3	Чисельність планктонних водоростей, кл./дм^3		
	діатомові	зелені	синьозелені
2012			
Манган	–0,1617	0,6046	–0,1501
Ферум	–0,4244	0,0992	0,7410
2013			
Манган	0,0504	0,4270	0,5431
Ферум	–0,3283	–0,3610	–0,5628
2014			
Манган	–0,3125	–0,0292	0,6808
Ферум	–0,3465	0,2078	0,2288

Впродовж досліджень у водозаборі домінуючими угрупованнями плактонних водоростей були діатомові, зелені та синьозелені. Відомо, що сполуки Mn і Fe зазвичай використовуються фітопланктоном як поживні елементи, а після деградації угруповань та розкладання водоростевих клітин знов потрапляють у воду, підвищуючи концентрацію цих ВМ [3], тобто повинні мати з ними тісні зв'язки. Проте серед існуючих залежностей тільки кореляції Mn з чисельністю зелених (0,6046±0,2519, p≤0,05) у 2012-му і синьозелених (0,6808±0,2316, p≤0,05) у 2014-му роках, а також Fe з чисельністю синьозелених водоростей (0,7410±0,2123, p≤0,01) у 2012-му році досягли вірогідних значень.

Крім визначення кореляційних зв'язків важливо також проаналізувати основні тенденції щодо зміни з роками величин коефіцієнтів кореляцій між Mn й Fe та показниками, що здійснюють на них найбільший вплив у воді водозабору. Спостерігалось послаблення зв'язків вмісту сполук Mn із значеннями температури води на 28,54 % і посилення – зв'язків Fe з температурою і РК на 79,12 % та 95,77 % відповідно. До того ж послабились кореляційні зв'язки Mn з зеленими з 2012-го до 2014-го року на 65,63 %, а з синьозеленими, навпаки, зазнали суттєвого посилення – на 77,95 %. Сполуки Fe у 2012-му році мали найтісніші зв'язки з синьозеленими водорстями, однак вже наступного року вони пішли на спад.

Отже, зафіксовано перерозподіл кореляційних зв'язків, що відбувся за дослідний період, зокрема, у водозаборі зросла залежність вмісту сполук Fe від температури води та РК, а також вмісту сполук Mn від чисельності синьозелених водоростей, що є надзвичайно небезпечним явищем, яке за подальшого збереження вказаних тенденцій буде сприяти підвищенню концентрацій сполук цих ВМ, а відтак, – і зростанню токсичності поверхневих вод.

Основною причиною виникнення нетипових для водозабору тенденцій (за виключенням сезонної динаміки Mn та його кореляційних зв'язків) було проведення заходів з очищення і поглиблення донної частини водойми, що викликало порушення у циклах розвитку синьозелених водоростей, чисельність яких аномально підвищилась (до 91,06 тис. кл./дм^3) у грудні 2012-го року. Вказані порушення могли сприяти також активізації залізосинтезуючих бактерій, розвиток яких, у свою чергу, забезпечив високий позитивний кореляційний зв'язок синьозелених із сполуками Fe (0,7410, p≤0,01). За нормалізації циклів розвитку водоростей у 2014-му році, вірогідно посилилась сила їх зв'язку з Mn (0,6808, p≤0,05), а з Fe – навпаки, зазнала послаблення (0,2288).

6. Висновки

1. Встановлено, що у воді водозабору концентрації сполук Mn й Fe впродовж більшості сезонів переважали ГДК$_В$ (0,1 та 0,3 мг/дм^3 відповідно) у 2–8 разів. Найбільший вміст Mn припадав виключно на літні місяці, а Fe – на різні пори року.

2. З'ясовано, що зміни концентрацій Mn були значно сильніше пов'язані з температурою води (0,7029, p≤0,01 – у 2012-му і 0,6702, p≤0,05 – 2013-му роках) та РК (-0,6272, p≤0,05 – у 2012-му; -0,8752, p≤0,0001 – 2013-му; -0,6349, p≤0,05 – 2014-му роках), ніж зміни концентрацій Fe. Кореляційні зв'язки сполук Fe з цими показниками досягли вірогідності лише у 2014-му році (0,7326 та -0,7469 відповідно, p≤0,01).

3. Як було засвідчено, з усіх угруповань фітопланктону сполуки Mn і Fe мали вірогідні кореляцій-

ні зв'язки лише з синьозеленими водоростями: Mn (0,6808, $p \leq 0,05$) – у 2014-му році та Fe (0,7410, $p \leq 0,01$) – у 2012-му році.

4. За трирічний період досліджень зафіксовано послаблення зв'язків Mn з температурою води (на 28,54 %) і чисельністю зелених водоростей (на 65,63 %) та посилення – з чисельністю синьозелених (на 77,95 %), а також чітко виражене зростання залежності концентрацій сполук Fe від температури (на 79,12 %) та РК (на 95,77 %).

Визначено, що більшість з виявлених тенденцій (крім сезонної динамики Mn і його кореляційних зв'язків з температурою, РК та чисельністю синьозелених) були нетиповими для водозабору і виникли, найімовірніше, внаслідок проведення заходів з очищення донної частини водойми та її поглиблення, що потягнуло за собою низку порушень стану водного середовища, у тому числі призвело у грудні 2012-го року до аномального підвищення чисельності синьозелених водоростей (до 91,06 тис. кл./дм^3).

Література

1. Запольський А. К., Шумигай І. В. Охорона питних вод від виснаження і забруднення // Агроекологічний журнал. 2015. № 3. С. 6–15.

2. Унифицированные методы анализа вод / ред. Лурье Ю. Ю. Москва: Издательство Химия, 1973. 376 с.

3. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: підручник. Київ: Ніка-центр, 2001. 264 с.

4. Брень Н. В. Использование беспозвоночных для мониторинга загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами // Гидробиологический журнал. 1999. Т. 35. С. 75–88.

5. Пінкіна Т. В. Джерела надходження важких металів у прісні водойми та їх різнобічний вплив на гідробіонтів: зб. матер. ІІ наук.-пр. конф. // Вода: проблеми та шляхи вирішення. Житомир, 2007. С. 80–84.

6. Важкі метали у водах і торфах Житомирського Полісся: зб. матер.VIII наук.-пр. конф. / Кот І. С. та ін. // Наука. Молодь. Екологія-2012. Житомир, 2012. С. 181–186.

7. Arunakumara K. K. I. U., Zhang X. Heavy metal bioaccumulation and toxicity with special reference to microalgae // Journal of Ocean University of China. 2008. Vol. 7, Issue 1. P. 60–64. doi: http://doi.org/10.1007/s11802-008-0060-y

8. Bergkemper V., Weisse T. Phytoplankton response to the summer 2015 heat wave – a case study from prealpine Lake Mondsee, Austria // Inland Waters. 2017. Vol. 7, Issue 1. P. 88–99. doi: http://doi.org/10.1080/20442041.2017.1294352

9. Дудник С. В. Водна токсикологія. Ч. 2. Іхтіотоксикологія: метод. пос. Київ, 2014. 108 с.

10. Environmental Deterioration and Human Health: Natural and anthropogenic determinants / ed. by Malik A., Grohmann E., Akhtar R. Dordrecht: Springer, 2014. P. 8–16. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-007-7890-0

11. River watch. Manual for public environmental monitoring. Saint Petersburg: Friends of the Baltics. Coalition Clean Baltics, 2015. 32 p.

12. Білявський Г. О., Бутченко Л. І. Основи екології: теорія та практикум: навч. пос. Київ: Лібра, 2006. 368 с.

Рекомендовано до публікації д-р біол. наук Житова О. П.
Дата надходження рукопису 22.09.2018

Аристархова Елла Олександрівна, кандидат біологічних наук, доцент, кафедра екологічної безпеки та економіки природокористування, Житомирський національний агроекологічний університет, бул. Старий, 7, м. Житомир, Україна, 10008
E-mail: ella.aryst@gmail.com