

УДК 504. 45: 591. 541

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-2-1>

Ольга БЄДУНКОВА

доктор біологічних наук, доцент, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028

ORCID: 0000-0003-4356-4124

Віктор ТРОЦЮК

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028

Юлія ЦІПАН

аспірант кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028

Бібліографічний опис статті: Бедункова, О., Троцюк, В., Ціпан, Ю. (2021) Акумуляція важких металів у донних відкладах. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 3–8, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-2-1>

АКУМУЛЯЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ДОННИХ ВІДКЛАДАХ

Донні відклади виступають в якості “депо” сумарної кількості важких металів водних екосистем також і малих річок, які на відміну від непротічних водойм характеризуються динамічністю та активною взаємодією системи “вода – донні відкладення”.

У статті наведено результати визначення вмісту важких металів у донних відкладах типової для Поліської зони України малої річки. Найпомітніше зростання концентрацій важких металів спостерігається у тих ділянках, де донні відклади, багаті на органічні речовини, а сама водойма зазнає зовнішнього антропогенного впливу. Доведено необхідність проведення оцінки стану водних екосистем за якісними характеристиками донних відкладів. На момент дослідження, донні відклади характеризувались найбільшим вмістом цинку, а у воді переважали концентрації марганцю. У відповідності з теорією молекулярної дифузії, найбільшою здатністю до обміну володіють з’єднання з найменшою молекулярною масою. Побудова кореляційних залежностей вмісту важких металів у донних відкладах і воді дослідної річки, дозволила встановити величини апроксимації: які у створі № 1 становили величину 0,55; у створі №2 величину 0,74; у створі № 3 величину 0,40. Це дозволяє стверджувати, що найбільшим депонуванням важких металів характеризуються донні відклади, які багаті на вміст органічних речовин та зазнають активного алохтонного впливу. За числовим вираженням, елементи у порядку зменшення концентрацій у донних відкладах, розташувались в ряд: $Zn > Mn > Cu > As > Pb > Cd > Co$; у воді річки: $Mn > Zn > Cu > As > Pb > Cd > Co$. Отже, на характер накопичення впливають і особливості комплексоутворення в процесах обміну з’єднання важких металів між донними відкладами і водою та ряд алохтонних чинників. Зважаючи на здатність водних екосистем до вторинного забруднення (самозабруднення) різноманітними речовинами, в тому числі з’єднаннями металів, за рахунок донних відкладів, виникає необхідність оцінки стану водних екосистем по якісним характеристикам донних відкладів.

Ключові слова: донні відклади, важкі метали, акумуляція.

Olha BIEDUNKOVA

Doctor of Biology, Associate Professor, Professor at the Department of Ecology, Environmental Technology and Forestry, National University of Water and Environmental Engineering, 11 Soborna St., Rivne, Ukraine, 33028

ORCID: 0000-0003-4356-4124

Viktor TROTSIUK

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer at the Department of Ecology, Environmental Technology and Forestry, National University of Water and Environmental Engineering, 11 Soborna St., Rivne, Ukraine, 33028

Yuliia TSIPAN

Postgraduate at the Department of Ecology, Environmental Technology and Forestry, National University of Water and Environmental Engineering, 11 Soborna St., Rivne, Ukraine, 33028

To cite this article: Biedunkova, O., Trotsiuk, V. & Tsipan, Y. (2021). Akumulatsiia vazhkykh metaliv u donnykh vidkladakh [Accumulation of heavy metals in bottom sediments]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 3–8, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-2-1>

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN BOTTOM SEDIMENTS

Bottom sediments serve as an accumulation of the total amount of heavy metals in the aquatic ecosystems of small rivers, which, unlike the non-point bodies of water, are characterized by the dynamism and active interaction of the “water-bottom sediments” system.

The results of the determination of heavy metals in sediments of a small river typical of the Poles zone of Ukraine are given in the article. In the studies, increases in heavy metal concentrations were more pronounced at sites where sediments were rich in organic matter and the water itself was exposed to external anthropogenic effects. The need to assess the state of aquatic ecosystems according to the qualitative characteristics of sediments has been proven. At the time of the study, sediments were the most zinc-containing sediments, while manganese concentrations dominated the water. According to the theory of molecular diffusion, the compounds with the smallest molecular mass have the greatest potential for exchange. The correlation of heavy metals in sediments and in the water of the study river gave approximations of 0.55 at point 1; 0.74 at point 2; 0.40 at point 3. This suggests that the most significant depositions of heavy metals are sediments that are rich in organic matter and subject to active allochthonous effects. By numerical expression, the elements in decreasing order of concentration in sediment were in series: Zn > Mn > Cu > As > Pb > Cd > Co; in river water: Mn > Zn > Cu > As > Pb > Cd > Co. Therefore, Accumulation patterns are also influenced by complexities in the exchange of heavy metal compounds between sediment and water and a number of allochthonous factors. Given the potential of aquatic ecosystems for secondary (self-polluting) pollution by various substances, including metal compounds, from sediments. It concluded that the state of aquatic ecosystems should be assessed according to the qualitative characteristics of sediments.

Key words: sediment, heavy metals, accumulation.

Якість води у водних об'єктах є продуктом функціонування їх екосистем. В основі функціонування водних екосистем та формування якості води лежить кругообіг органічних і неорганічних речовин, який включає абіотичні та біотичні ланки [1]. Основні ланки водних екосистем, які безпосередньо взаємодіють між собою та обумовлюють екологічні характеристики один одного, можна виділити в три великі групи: вода (V), донні відклади (M), гідробіоти (G) (рис. 1).

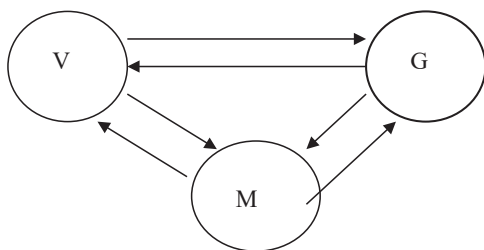


Рис. 1. Взаємозв'язок ланок водних екосистем

На перший погляд проста та зрозуміла схема, містить у своїй суті нескінчений ряд автохтонних (внутрішньоводоймних) та алохтонних (зовнішніх) чинників. Так, вплив автохтонних і алохтонних процесів на якість води,

на сучасному етапі розвитку науки, вивчено та систематизовано достатньо вичерпно. Те саме, можна стверджувати щодо реакції гідробіотів на вплив зазначених чинників. Проте, дані про обсяги донних відкладень водойм, в тому числі і малих річок, та їх якісні характеристики є обмеженими. Відсутність ґрунтовних досліджень в цьому напрямку, унеможливорює розробку і створення методики комплексного обстеження та оцінки водних екосистем.

Відомо, що концентрації забруднюючих речовин у донних відкладеннях є більш важливими показниками стану водойм, ніж характеристики водного середовища, оскільки вони відображують багаторічні процеси накопичення та трансформації речовин у водоймах [2].

Так, первинні процеси забруднення водних екосистем, обумовлені безпосереднім антропогенним впливом, ведуть до осадження достатньої кількості забруднюючих речовин на дно [3]. Донні відкладення згодом підлягають деструкції в процесі гниття, бродіння та окислення. В результаті утворюються вторинні забруднення, що мають також і токсичні властивості [4].

В останні роки до найбільш небезпечних забруднювачів оточуючого середовища відносять

іони важких металів, стійкість яких у процесах розкладу призводить до постійного накопичення їх у водних екосистемах [1]. За даними [5, 6] вміст Cu у воді річки Дністер відповідає значенням 2,0 – 2,3 мкг/дм³, а у донних відкладах на глибині до 5 см 12,2 мг на 1 кг сухої маси; вміст Zn у воді Київського водосховища знаходиться в межах 7,5 – 72,8 мкг/дм³, коли у донних відкладеннях цієї ж водойми вміст Zn коливається в межах 43,6 – 105,8 мг на 1 кг сухої маси.

Зберігаючись протягом тривалого часу, важкі метали мігрують по ланках трофічного ланцюга і згодом акумулюються у його верхівках – риби, водних ссавцях та ін. [2, 7]. Високі концентрації важких металів у воді та донних відкладах (особливо розчинних та легкорухомих форм) порушують природний кругообіг їх у водоймі та впливають на нормальне функціонування всієї водної екосистеми [7, 8].

Метою даної роботи було дослідити процеси депонування важких металів у донних відкладах малої річки, надходження яких до води обумовлене, передусім, антропогенними чинниками.

В роботі використовувались дані відбору донних відкладень малої річки III класу якості води (по створах спостережень).

Проби мулу відбирались за стандартною гідробіологічною методикою [9] дночерпачем Петерсена (площа захвату 1/40 м²) у трикратній повторюваності в кожній точці. Паралельно відбирались усереднені проби води (з поверхневого та глибинних шарів) [10].

Визначення вмісту важких металів проводилось методом атомної абсорбції за допомогою приладу СЕМІ-600 (Україна) в лабораторії кафедри екології НУВГП (м. Рівне). Кожна проба піддавалась обробці у 3–5-кратній повторюваності.

Для оцінки процесу депонування іонів важких металів у донних відкладеннях визнача-

лись концентрації найбільш токсичних елементів (Mn, Zn, Cu, Pb, Co, Cd, As).

Кореляційний, однофакторний та пропорційний аналіз виконувався на ЄОМ в рамках програмного пакету “Excel”. В рамках цієї ж програми були побудовані діаграми та графіки, для спрощення візуального сприйняття обробітку експериментальних даних, отриманих з дослідного матеріалу.

Мала річка Замчисько є притокою першого порядку р. Горинь. Природні умови та антропогенні фактори формування якості поверхневих вод обумовлюють її певні гідрохімічні характеристики, які є типовими для більшості малих річок Поліської зони України: поверхневі води відносяться до III класу якості, найбільший вплив на її зміну в гіршу сторону має блок специфічних речовин. Максимальні рівні води (в період повноводдя у середній частині річки – 6,05 м) та об’єм твердого стоку (1,02 тис. м³/рік) визначають середні величини осадо накопичення. За класифікацією, що наведено в роботі [1], донні відклади річки Замчисько можуть бути віднесені до вторинних неорганічних ґрунтів. Вони представлені, за створами спостережень наступним чином: створ № 1 – піщаним сірим та сірим мулом, створ № 2 – мулистим піском та створ № 3 - піском. Дані створи, були обрані не лише за даною ознакою, але і по розміщенню за течією дослідної річки. Так, створ № 1 належить до ділянки річки 4,5 км нижче витоку, в межах населеного пункту (селище), створ № 2 – в межах населеного пункту (районний центр), 0,5 км нижче скиду очисних споруд та створ № 3 – 0,3 км вище гирла.

Проведене нами визначення вмісту важких металів у донних відкладах дослідної річки наведено в таблиці 1.

З представлених результатів проведеного аналізу, легко помітити, що найбільший вміст всіх елементів був виявлений у створі

Таблиця 1

Вміст ВМ у донних відкладах р. Замчисько (мг/кг)

№ створу	Cu			Mn			Zn			Cd		
	n	M	±m	n	M	±m	n	M	±m	n	M	±m
1	4	6,22	0,21	3	37,8	1,27	3	34,5	1,41	3	0,10	0,04
2	5	14,0	0,3	4	63,0	2,04	5	70,8	2,35	3	0,25	0,21
3	5	10,1	0,35	3	54,0	2,23	4	59,2	2,07	4	0,13	0,06
середнє		10,1	0,29		51,6	1,85		54,7	1,94		0,15	0,10

Продовження таблиці 1

№ створу	Pb			As			Co		
	n	M	±m	n	M	±m	n	M	±m
1	4	0,17	0,03	3	0,25	0,07	3	0,03	0,004
2	3	0,41	0,15	5	0,68	0,11	3	0,07	0,006
3	4	0,22	0,06	4	0,42	0,05	3	0,05	0,004
середнє		0,26	0,08		0,46	0,08		0,05	0,005

гідрохімічного контролю №2 (Cu 14,0±0,3; Mn 63,0±2,04; Zn 70,8±2,35; Cd 0,25±0,21; Pb 0,41±0,15; As 0,42±0,05 мг/кг), найменший у створі №1 (Cu 6,22±0,21; Mn 37,8±1,27; Zn 34,5±1,41; Cd 0,10±0,004; Pb 0,17±0,03; As 0,25±0,07 мг/кг) та проміжне місце належало створу №3 (Cu 10,1±0,35; Mn 54,0±2,23; Zn 59,2±2,07; Cd 0,13±0,006; Pb 0,22±0,006; As 0,42±0,05 мг/кг).

Нижче наводиться графік, що відображує результати визначення важких металів у донних відкладах та у воді річки.

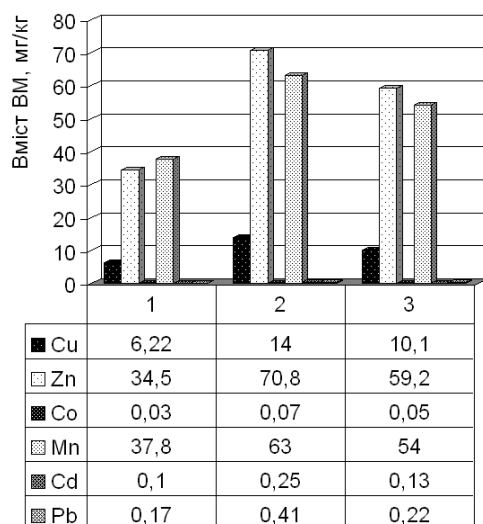


Рис. 2. Вміст важких металів (ВМ) у донних відкладах малої річки за створами спостережень

З наведеного графіку, легко помітити, що всередньому по річці, за числовим вираженням, елементи у порядку зменшення концентрацій у донних відкладах, розташувались в наступний ряд: Zn > Mn > Cu > As > Pb > Cd > Co.

Необхідно зауважити, що незначні відкладення Co були зафіксовані у всіх створах і в середньому по річці його вміст у мулі склав 0,05±0,005 мг/кг.

Відомо, що міграційні властивості іонів важких металів обумовлюють їх здатність до обміну між донними відкладами та водою, що з ними контактує. Результати досліджень вмісту важких металів у пробах води дослідної річки, наведено у таблиці 2 (за екологічний норматив прийнято еталонні характеристики поверхневих вод за вмістом специфічних домішок токсичної дії [1]).

З таблиці 2 можна помітити, що найбільшу концентрацію у воді мав марганець – від 0,145 до 0,413 мг/л, далі йдуть цинк – від 0,03 до 0,116 мг/л та мідь – від 0,008 до 0,017 мг/л, найменший вміст у воді річки характерний для хрому: серед всіх створів було встановлено його концентрацію менше 0,02 мг/л у створі № 3 за найгіршими значеннями ознаки. Вміст решти елементів ВМ за наявними даними відсутній.

Порівняння цих даних з екологічним нормативом для поверхневих вод, дозволяє помітити, що вміст Cu у воді річки перевищував норму у всіх створах, в середньому в 10 разів. Вміст

Таблиця 2

Вміст важких металів у воді малої річки, мг/л

Елемент	Значення створи			Екологічний норматив*
	1	2	3	
	Cu	0,009	0,011	
Zn	0,03	0,074	0,032	0,01
Co	не визн.	не визн.	-	0,001
Mn	0,239	0,145	-	0,05
Cd	не визн.	не визн.	не визн.	0,001
Pb	не визн.	не визн.	не визн.	0,01
As	не визн.	не визн.	не визн.	0,005

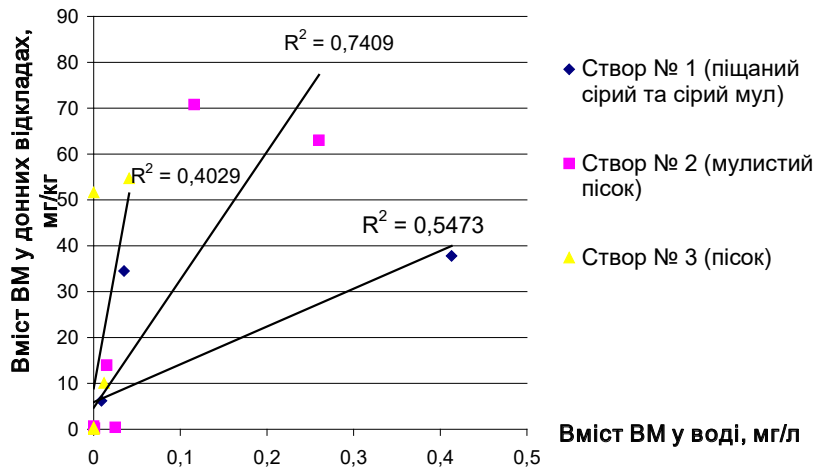


Рис. 3. Встановлення величин апроксимації вмісту важких металів (ВМ) між донними відкладами та водою

Zn, в середньому в 4,9 разів; Mn в 5,6 разів. Таке становище, безпосередньо відображується на погіршенні якості води і характеризує її за вмістом речовин біоцидної дії як 3-4 категорія стану водних біоценозів [1].

Аналіз та порівняння наведених вище таблиць дозволяє помітити, що у воді річки, вміст важких металів значно менший, ніж у донних відкладах. Так, побудова кореляційних залежностей вмісту важких металів у донних відкладах і воді дослідної річки (рисунок 3), дозволила встановити величини апроксимації: які у створі № 1 становили величину 0,55; у створі № 2 величину 0,74; у створі № 3 величину 0,40. Це дозволяє стверджувати, що найбільшим депонуванням важких металів характеризуються донні відклади, які багаті на вміст органічних речовин та зазнають активного алохтонного впливу, а саме, створ № 2, що представлений мулистим піском та розташований нижче очисних споруд.

При цьому, на момент дослідження, донні відклади характеризувались найбільшим вмістом цинку, а у воді переважали концентрації марганцю. У відповідності з теорією молекулярної дифузії, найбільшою здатністю до обміну володіють з'єднання з найменшою молекулярною масою. Результати наших досліджень доводить і робота [11], де було виявлено, що в умовах тривалого дефіциту розчиненого кисню марганець активно мігрує з донних відкладень у воду і накопичується в ній, пере-

важно, у вигляді іонів Mn^{2+} . Крім того, підтверджується і залежність величин вмісту важких металів у донних відкладах від їх органо-мінеральних характеристик, про що свідчать ряд праць та публікацій [6, 11].

Висновки та пропозиції. В екосистемі типової для Поліської зони України малої річки вміст важких металів у донних відкладеннях значно перевищує їх вміст у воді. Це обумовлено як абсорбційними властивостями органічних речовин донних відкладень, так і впливом алохтонних чинників.

Так, донні відклади типу піщаний сірий та сірий мул, на ділянці річки 4,5 км нижче витоку, в межах селища (створ № 1) характеризувались найменшими значеннями вмісту важких металів: Cu $6,22 \pm 0,21$; Mn $37,8 \pm 1,27$; Zn $34,5 \pm 1,41$; Cd $0,10 \pm 0,004$; Pb $0,17 \pm 0,03$; As $0,25 \pm 0,07$ мг/кг. Найбільші значення вмісту важких металів у донних відкладах були характерні для середньої ділянки річки в межах районного центру 0,5 км нижче скиду стічних вод (створ 2): Cu $14,0 \pm 0,3$; Mn $63,0 \pm 2,04$; Zn $70,8 \pm 2,35$; Cd $0,25 \pm 0,21$; Pb $0,41 \pm 0,15$; As $0,42 \pm 0,05$ мг/кг. Середніми значеннями характеризувались донні відклади близько гирла річки (створ № 3): Cu $10,1 \pm 0,35$; Mn $54,0 \pm 2,23$; Zn $59,2 \pm 2,07$; Cd $0,13 \pm 0,006$; Pb $0,22 \pm 0,006$; As $0,42 \pm 0,05$ мг/кг. І хоча в даному створі донні відклади представлені піском, такі концентрації елементів пояснюються тим, що в середній частині річка зазнає впливу стічних вод.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Романенко В.Д. Основи гідроекології: Підручник. Київ : Обереги, 2001. 728 с.
2. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем (гідрохімія, гідробіологія, гідрологія, управління). Том I. Гриб Й.В., Клименко М.О., Сондак В.В. Рівне : Волинські береги. 1999. 348 с.
3. Брукс Р.Р. Загрязнение микроэлементами и химия окружающей среды. Москва : Химия, 1982, с. 371–413.
4. Хвесик М.А., Рижова К.І. Рибне господарство України (еколого-економічний аспект). Київ : РВПС України НАН України, 2004. 53 с.
5. Экологическое состояние реки Днестр / Л.В. Шевцова, К.А. Алиев, О.А. Кузько и др. Київ: Редакция «Гидробиологический журнал», 1998. 148 с.
6. Линник П.Н. Донные отложения водоемов как потенциальный источник вторичного загрязнения водной среды соединениями тяжелых металлов *Гидробиологический журнал*. 1999. 35, № 1. с. 32–42.
7. Перевозников М.А., Богданова Е.А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах. Санкт-Петербург. 1999. 228 с.
8. Клименко М.О., Бедункова О.О. Міграція важких металів у ланцюгах живлення водних екосистем. Зб. наук. праць «Вісник національного університету водного господарства та природокористування». Вип. 2(34). Ч. 1. Рівне, 2006. С. 13–20.
9. Методы гидробиологического анализа пресных вод. Ленинград, 1976, с. 14–23.
10. Якість води. Відбирання проб. Частина 2. Настанови щодо методів відбирання проб (ISO 5667-2:1991, IDT). 11 с.
11. Линник Н.М. Влияние фульвокислот на миграцию металлов в системе «донные отложения – вода». *Гидробиологический журнал*. Том 43, № 6, 2007. С. 93–110.

REFERENCES:

1. Romanenko, V.D. (2001) *Osnovy hidroekologii: Pidruchnyk*. [Basics of hydroecology: Pidruchnyk]. Kyiv: Oberehy [in Ukrainian].
2. *Vidnovna hidroekologhiia porushenykh richkovykh ta ozernykh system (hidrokhimiia, hidrobiologhiia, hidrologhiia, upravlinnia) [Restorative hydroecology of disturbed river and lake systems (hydrochemistry, hydrobiology, hydrology, management)]*. Tom I. Hryb Y.V., Klymenko M.O., Sondak V.V. (Eds.) 1999. Rivne: Volynski oberehy [in Ukrainian].
3. Bruks, R.R. (1982) *Zahriaznenye mykrozlementamy y khymyia okruzhaiushchei sredy [Micronutrient pollution and environmental chemistry]*. Moscow: Khymyia [in Ukrainian].
4. Khvesyk M.A., Ryzhova K.I. (2004) *Rybne hospodarstvo Ukrainy (ekoloho-ekonomichnyi aspekt). [Fisheries of Ukraine (ecological and economic aspect)]*. Kyiv: RVPS Ukrainy NAN Ukrainy [in Ukrainian].
5. Shevcova, L.V., Aliev, K.A., Kuz'ko, O.A. et. al. (Eds.). (1998) *Jekologicheskoe sostojanie reki Dnestr [Ecological state of the Dniester river]* Kyiv: "Gidrobiologichny zhurnal" [in Russian].
6. Linnik, P.N. (1999) *Donnye otlozhenija vodoemov kak potencial'nyj istochnik vtorichnogo zagrjaznenija vodnoj sredy soedinenijami tjazhelyh metallov. Hydrobiologicheskij zhurnal – Hydrobiological journal*. 35, 1 [in Russian].
7. Perevoznikov, M.A., Bogdanova, E.A. (1999). *Tjazhelye metally v presnovodnyh ekosistemah. [Heavy metals in freshwater ecosystems. Sankt-Peterburg]* St. Petersburg [in Russian].
8. Klymenko, M.O., Biedunkova, O.O. (2006). *Mihratsiia vazhkykh metaliv u lantsiuhakh zhyvlennia vodnykh ekosystem [Migration of heavy metals in the food chains of aquatic ecosystems]. Zb. nauk. prats "Visnyk natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia" – Collection of scientific works "Bulletin of the National University of Water Management and Nature Management"*. 2(34). Ch. 1. Rivne [in Ukrainian].
9. *Metody gidrobiologicheskogo analiza presnyh vod. [Methods of hydrobiological analysis of fresh waters]* (1976) Leningrad, 14-23 [in Russian].
10. *Yakist vody. Vidbyrannia prob. Chastyna 2. Nastanovy shchodo metodiv vidbyrannia prob [Water quality. Sampling. Part 2. Guidelines for sampling methods]* (ISO 5667-2:1991, IDT) [in Russian].
11. Linnik, N.M. (2007). *Vlijanie ful'vokislot na migraciju metallov v sisteme "donnye otlozhenija – voda". Influence of fulvic acids on the migration of metals in the system "bottom sediments – water". Hydrobiologicheskij zhurnal – Hydrobiological journal*. 43, 6 [in Ukrainian].