

ECOLOGICAL STUDIES OF WATER BODIES



M. O. Klimenko Dr. Sci. (Agric.), Professor
I. I. Zaleskyi Cand. Sci. (Geog.), Assoc. Prof.
O. O. Biedunkova  Cand. Sci. (Agric.), Assoc. Prof.

UDK 504.45:551.312.3:
574.64

*National University of Water and Environmental Engineering,
Soborna str., 11, Rivne, Ukraine, 33028*

ENVIRONMENTAL EVALUATION OF GEOCHEMICAL CHANGES IN BOTTOM SEDIMENTS OF USTIA HEADWATER

Abstract. Any changes to anthropogenic impact within the watersheds involving the transformation of ecosystem relationships cause irreversible changes in the structure and composition of sediments. The objective of the research was to analytically compare the results of the study on heavy metals in Ustia River sediments with the use of various methods for determining environmental geochemical changes in headwaters due to human transformation of the basin between 1994 and 2015.


Ustia River experienced the highest anthropogenic impact during 1968–1994. Starting from 1968 and up to the present time the wastewater volume disposed to the river is more than 25 m³ per day. Despite the downturn in the national economy since the mid 90-ies of the 20th century, the negative impact on the environment of surface water area does not stop.

The environmental evaluation of the bottom sediments of Ustia River was held basing on the results of spectral analysis of air-dried samples of silt fraction from the selected samples. The researcher analysed the content of heavy metals which emission takes place within the river basin as a result of runoff generated by chemical and woodworking industries, transport, wastewater and agricultural use of the territory, particularly Pb, Mn, Co, Cu, Zn and Cd.

For the first time, researchers have figured out that for the past twenty years there has been no improvement in the overall ecological state of the Ustia River bottom sediments. The human impacts on the hydro-ecosystem, assessed according to the content of heavy metals, have moderated only in the river section near the headstream. The author views this fact as a consequence of reduced chemicals' usage (i.e. fertilizers, pesticides, compost, sewage and animal waste) on the cultivated land in this part of the basin.

The remaining sections of riverbed have experienced deterioration of the bottom sediments; it is particularly notable with regard to the content of such elements as Mn, Cu, Zn and Pb within the urban areas. The increase of the concentrations of metals in the sediments near Basiv Kut Dam Lake in 2015, compared with the relevant data for 1994, can serve as the evidence that the negative impact on hydro-ecosystem has intensified.

In both observation periods the bottom sediments of the upper part of the river has demonstrated extremely high content of Mn. Hence, in 1994 it markedly declined in the central section of the stream, and in 2015 it appeared in significant concentrations in the sediments along the channel. It is obvious that in this case there are geochemical features of the basin; however the situation in 2015 indicates a change in the state of bottom sediments with regard to the content of Mn under the influence of anthropogenic factors.

 Tel.: +38066-913-83-92. E-mail: bedunkovaolga@mail.ru

DOI: 10.15421/031618

ISSN 1726-1112. *Ecology and noospherology*. 2016. Vol. 27, no. 3–4

97

The analysis of the geochemical changes in bottom sediments of Ustia headwater from 1994 until 2015 show that the concentrations of such elements as Cu, Zn, Pb, Co and Cd in the bottom sediments according to 2015 data turned out to be higher compared to 1994, excluding the upper part of the river. Nevertheless the geochemical anomalies of Mn contents noticed along the channel are also the case in this situation.

The level of anthropogenic impact, measured in terms of total pollution index for the concentration of heavy metals in bottom sediments in both observation periods appeared to be «weak» or «slightly increased» if there were toxic elements. Hence, if in 1994 there was a high risk of pollution of bottom sediments with such elements as zinc, lead and copper both in case of the relative background values and hygiene criteria (maximum allowable concentrations in soil), in 2015 cobalt also appeared among such elements.

The level of contamination of sediments according to international contamination classes mainly shows «significant» and «increased» impact on different parts of the river for the Mn content (5–6 grades) in both observation periods; the Cu and Zn content vary from «low» to «moderate» in 1994 (1–3 grades) and from «low» to «substantial» in 2015 (2–4 grades); the Pb content is «poor» (grade 1) in 1994 and «moderate» in 2015; Co and Cd content describes human impact on hydro-ecosystem as «weak» in both periods (0–1 grades).

The assessment methods used by the researcher allowed tracking various aspects of heavy metal pollution in the bottom sediments. Furthermore, they help discovering that nowadays the sediments of Ustia River play the role of anthropogeny outcome battery against the geochemical anomalies of individual elements.

Key words: *bottom sediments, heavy metals, pollution level, human impacts.*

УДК 504.45:551.312.3:
574.64

Н. А. Клименко
И. И. Залеский
О. А. Бедункова

д-р с.-х. наук, проф.
канд. геогр. наук, доц.
канд. с.-х. наук, доц.

*Национальный университет водного хозяйства и природопользования,
ул. Соборная, 11, г. Ровно, Украина, 33028,
тел.: +38066-913-83-92, e-mail: bedunkovaolga@mail.ru*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛОЙ РЕЧКИ УСТЬЯ

Аннотация. Впервые за двадцатилетний период выявлено ухудшение экологического состояния донных отложений р. Устья по содержанию тяжелых металлов, эмиссия которых имеет место в пределах бассейна. При этом концентрации таких элементов, как Cu, Zn, Pb, Co и Cd, в донных отложениях, по данным 2015 г., оказались повышенными по сравнению с 1994 г., за исключением верхней части реки, где имеют место геохимические аномалии содержания Mn, сохраняющиеся вдоль всего русла. В пределах урбанизированных территорий особенно заметно возросли концентрации Cu, Zn и Pb. Доказательством усиления негативного влияния на гидроэкосистему является возрастание в 2015 г. содержания металлов в осадках реки после дамбы Басовкутского водохранилища. Уровень техногенной нагрузки, оцененный по показателю суммарного загрязнения донных отложений тяжелыми металлами за оба периода наблюдений, оказался «слабым» при уровне содержания токсичных элементов «слабоповышенный». В 1994 г. (в среднем по реке) в ряду опасности загрязнения донных отложений как относительно фоновых значений, так и относительно санитарно-гигиенических критериев (предельно допустимых концентраций элементов в почве) первенство имели такие элементы, как цинк, свинец и медь, а в 2015 г. среди них появляется кобальт. Уровень загрязнения донных отложений по иерархическим классам был преимущественно «существенным» и «усиленным» по содержанию Mn (5–6-й классы) на разных участках реки в оба периода наблюдений; по содержанию Cu и Zn «слабым» и «умеренным» в 1994 г. (1–3-й классы), а также «слабым» и «существенным» в 2015 г. (2–4-й классы); по содержанию Pb «слабым» (1-й класс) в 1994 г. и «умеренным» в 2015 г.; содержание Co и Cd в оба периода характеризовало техногенную нагрузку на гидроэкосистему как «слабая» (0–1-й классы). Используемые методики оценки позволили отследить различные аспекты в характере загрязнения донных отложений тяжелыми металлами и выяснить, что в современный период осадки р. Устья играют роль аккумулятора продуктов антропогенеза на фоне геохимических аномалий отдельных элементов.

Ключевые слова: *донные отложения, тяжелые металлы, уровень загрязнения, техногенная нагрузка.*

УДК 504.45:551.312.3:
574.64

М. О. Клименко
І. І. Залеський
О. О. Бедункова

д-р с.-г. наук, проф.
канд. геогр. наук, доц.
канд. с.-г. наук, доц.

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028
тел.: +38066-913-83-92, e-mail: bedunkovaolga@mail.ru*

ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ГЕОХІМІЧНИХ ЗМІН ДОННИХ ВІДКЛАДІВ МАЛОЇ РІЧКИ УСТЯ

Анотація. Уперше за двадцятирічний період виявлено погіршення екологічного стану донних відкладів р. Устя за вмістом важких металів, емісія яких має місце в межах басейну. При цьому концентрації таких елементів, як Cu, Zn, Pb, Co та Cd, у донних відкладах за даними 2015 р. виявились підвищеними порівняно з 1994 р., за виключенням верхньої частини річки, де мають місце геохімічні аномалії вмісту Mn, що зберігаються вздовж усього русла. У межах урбанізованих територій особливо помітно зросли концентрації Cu, Zn та Pb. Доказом посилення негативного впливу на гідроекосистему є зростання вмісту металів в осадах після дамби Басівкутського водосховища в 2015 р., порівняно з даними за 1994 р. Рівень техногенного навантаження, оцінений за показником сумарного забруднення донних відкладів важкими металами в обидва періоди спостережень, виявився «слабким» при рівні вмісту токсичних елементів «слабопідвищений». У 1994 р. (у середньому для річки) у ряду небезпеки забруднення донних відкладів як відносно фонових значень, так і відносно санітарно-гігієнічних критеріїв (гранично допустимих концентрацій елементів у ґрунті) першість мали такі елементи, як цинк, свинець та мідь, у 2015 р. серед них з'являється кобальт. Рівень забруднення донних відкладів за іґео-класами був переважно «суттєвим» і «посиленним» за вмістом Mn (5–6-й класи) на різних ділянках річки в обидва періоди спостережень; за вмістом Cu та Zn «слабким» і «помірним» у 1994 р. (1–3-й класи) та «слабким» і «суттєвим» в 2015 р. (2–4-й класи); за вмістом Pb «слабким» (1-й клас) у 1994 р. та «помірним» у 2015 р.; вміст Co та Cd в обидва періоди характеризував техногенне навантаження на гідроекосистему як «слабке» (0–1-й класи). Використані методики оцінки дозволили відстежити різні аспекти в характері забруднення донних відкладів важкими металами та з'ясувати, що в сучасний період осади р. Устя відіграють роль акумулятора продуктів антропогенезу на фоні геохімічних аномалій окремих елементів.

Ключові слова: донні відклади, важкі метали, рівень забруднення, техногенне навантаження.

ВСТУП

Одним з найбільш об'єктивних і надійних показників стану забруднення водного середовища та загального рівня техногенного навантаження на нього є вміст забруднюючих речовин у донних відкладах (ДВ). Вони формуються в результаті седиментації завислого у воді матеріалу і його взаємодії з водною фазою й акумулюють у собі солі винесених поверхневими водами забруднюючих речовин (Sun et al., 2014), продуктів вітрової ерозії ґрунтів (Rickson, 2014), важких сполук, що утворюються в приземній атмосфері (Perelman, 1979), а також тверду фазу промислових та побутових стоків (Grishanin and Sorokin, 1982).

Тому будь-які зміни антропогенного навантаження в межах водозборів, що тягнуть трансформацію екосистемних зв'язків, викликають незворотні зміни в будові і складі ДВ (Arsan et al., 2010; Falkowska, 2015).

Найчутливішим середовищем для накопичення хімічних елементів виявляється їх тонкодисперсна алювіальна фракція (Konovets et al., 2003; Zhang et al., 2015). З одного боку, це сприяє самоочищенню водного середовища (Larina et al., 2008; Hanan, 2014), оскільки акумулюються різні екотоксиканти, з іншого – є джерелом вторинного забруднення водойм та індикатором динаміки антропогенезу (Linnik, 1999; Kenney et al., 2016).

Мета наших досліджень полягала в аналітичному зіставленні результатів вивчення вмісту важких металів у донних відкладах р. Устя за допомогою різних екологічних методик для з'ясування геохімічних змін малої річки внаслідок антропогенної трансформації басейну за період 1994–2015 рр.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Басейн малої річки Устя охоплює північні схили Рівненського лесового плато, у субмеридіальному спрямуванні його перетинає Волино-Подільська височина, а на межі з Волинським Поліссям річка впадає в р. Горинь. За територіально-адміністративним районуванням басейн річки розміщений у межах Рівненської області. У верхній частині, до м. Здолбунів, домінують агроландшафти, нижче за течією переважає Рівненсько-Здолбунівська житлово-промислова агломерація. Верхня та центральна частини басейну потрапляють до зони впливу підприємств хімічної промисловості ПАТ «Рівнеазот» та ПАТ «Волинь-Цемент», а нижня – до зони впливу деревообробного комбінату ТОВ «Одек Україна».

Оцінку стану ДВ р. Устя проводили в літню межень 1994-го та 2015 рр. Вивчався гранулометричний склад донних відкладів, їхня речовинна складова, що вважається важливим показником, який визначає характер осадонакопичення та депонування забруднюючих речовин.

Точки відбору проб ДВ знаходились на глибині 80–150 см, у місцях акумуляції наносів. Для відбору проб використовувався пластмасовий пробовідбірник оригінальної конструкції. З метою згладжування локальних значень вмісту мікрокомпонентів кожний відбір складався з 4–5 проб загальною вагою 250–300 г. Проби упаковувалися в поліетиленові мішки, герметизувалися й у природному стані відправлялися в лабораторію. Крок опробування відповідав місцям розміщення контрольних пунктів (к.п.), які встановлювали залежно від геоморфологічних особливостей долини та характеру антропогенного навантаження (табл. 1).

Таблиця 1

Місце розміщення та характер антропогенного навантаження в контрольних пунктах

№ к.п.	Місце розміщення	Відстань від гирла, км	Характер антропогенного навантаження
1	Західна околиця с. Івачків	65	Верхів'я річки, природний фон
2	Нижче м. Здолбунів	40	Вплив скиду стічних вод
3	У межах м. Рівного, 100 м нижче дамби оз. Басів Кут	25	Контрольний пункт нижче дамби Басівкутського водосховища
4	У межах м. Рівного, у районі центрального міського ринку	19,5	Вплив скиду каналізаційних стічних вод м. Рівного
5	Розширена ділянка річки в межах м. Рівного	18	Вплив скиду каналізаційних стічних вод м. Рівного
6	С. Оржів, поблизу впадіння в р. Горинь	0,1	Контрольний пункт у гирлі

Оцінка екологічного стану ДВ р. Устя проводилась за результатами спектрального аналізу (ААС «Семі-600») повітряно-сухих зразків мулистій фракції відібраних проб (Bricke, 1982). Усього було відібрано та проаналізовано 218 проб донних відкладів.

Аналізувався вміст важких металів, емісія яких має місце в межах басейну річки внаслідок надходження відходів виробництва, автотранспорту, стічних вод та сільськогосподарського використання території: Pb, Mn, Co, Cu, Zn та Cd.

Оцінку токсичного забруднення ДВ р. Устя проводили за результатами розрахунку сумарного показника забруднення (Отмахов, 2003):

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c (n - 1),$$

де Z_c – сумарний показник забруднення; K_c – кратність перевищення фактичного вмісту хімічної речовини в ДВ його середньої фонові концентрації в басейні

(Klymenko and Zales'kyu, 2010) або гранично допустимої концентрації для ґрунту (DSanPiN 2.2.7.029-99); n – загальна кількість забруднюючих речовин, що контролюється.

За показником Z_c судили про інтегральний рівень забруднення ДВ (табл. 2).

Таблиця 2

Орієнтовна шкала оцінки стану водойм за показником сумарного забруднення ДВ		
Z_c токсичних елементів у донних відкладах	Рівень забруднення	Вміст токсичних елементів
10	Слабкий	Слабкопідвищений відносно фону
10 – 30	Середній	Підвищений відносно фону, епізодичне перевищення ГДК
30 – 100	Сильний	Значно вищий за фон, стабільне перевищення окремими елементами рівнів ГДК
>100	Дуже сильний	Практично постійна присутність багатьох елементів у концентраціях вищих, ніж ГДК

Для визначення ступеня забруднення ДВ важкими металами скористались іґео-класами, або індексами геоакумуляції, за Г. Мюллером (Muller, 1979), згідно з рівнянням

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5 \cdot E_n} \right),$$

де I_{geo} – індекс геоакумуляції; C_n – виміряна концентрація елемента n у донних відкладах (фракції менші ніж 0,020 мм); E_n – геохімічна фонові концентрація елемента n (визначається за даними спеціальних регіональних досліджень), множення її на коефіцієнт 1,5 проводиться для врахування природних флуктуацій.

За отриманими значеннями I_{geo} встановлювали класи якості ДВ, що дозволило оцінити екологічний стан досліджуваної річки за вмістом окремих токсичних елементів (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристика рівнів забруднення ДВ за іґео-класами та техногенним навантаженням на водні екосистеми

Іґео-клас	Рівень забруднення важкими металами донних відкладів (Muller, 1979)	Техногенне навантаження на гідроекосистеми (Trofimov and Ziling, 2002)	Екологічна зона гідроекосистеми. Клас стану донних відкладів
0	Незабруднені	Слабке	Зона норми. Задовільний (сприятливий стан)
1	Незабруднені – помірно забруднені	(малонебезпечне)	
2	Помірно забруднені	Помірне (помірно	Зона ризику.
3	Середньозабруднені	небезпечне)	Несприятливий стан
4	Сильнозабруднені		Зона кризи. Дуже
5	Сильнозабруднені – надзвичайно забруднені	Суттєве (небезпечне)	несприятливий стан
6	Надзвичайно забруднені	Посилене (надзвичайно	Зона лиха.
		небезпечне)	Катастрофічний стан

Отримані результати наносили на картосхему басейну р. Устя.

Математичне та графічне опрацювання експериментальних даних проводили в рамках програмних пакетів Excel-2010, MS Word-2010 та Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Як і інші річки області, р. Устя перебувала в умовах найбільшого антропогенного навантаження в період 1968–1994 рр. Так, починаючи з 1968 р. і до

цього часу в річку надходить більше 25 тис.м³/добу стічних вод. Незважаючи на спад економіки з середини 90-х рр. XX ст., негативний вплив на екологічну ситуацію поверхневих вод області не припиняється. На сучасному етапі внаслідок аварійного стану комунікацій збільшилась кількість аварійних ситуацій, що призводить до надходження в р. Устя неочищених стічних вод.

Так, хімічний склад природних вод р. Устя помітно змінюється на окремих ділянках. До скидів міських каналізаційних та очисних споруд м. Рівного води належать до гідрокарбонатного типу зі змішаним катіонним складом при загальній мінералізації 0,5–0,58 г/дм³. Після скидів поверхневі води належать до хлоридно-гідрокарбонатного типу із мінералізацією близько 0,1 г/дм³. По всій течії води мають нейтральну реакцію (рН = 7,4–8,0) і лише в межах м. Рівного змінюються на слабколужну (рН = 8,48–8,62). Води помірно жорсткі (2,8–6,0 мг-екв/дм³). Окисненість становить 2,2–5,8 мгО₂/дм³. Вміст загального заліза змінюється в межах 0,2–1,0 мг/дм³, сульфатів 30–35 мг/дм³, іонів кальцію 8–81 мг/дм³, магнію 16–66 мг/дм³, натрію 14–113 мг/дм³. На різних ділянках значно змінюється вміст хлоридів: середній вміст на витоці становить 9,5 мг/дм³, далі в м. Здолбунів збільшується до 16,1–23 мг/дм³, від м. Здолбунів до м. Рівного 31–35 мг/дм³, після м. Рівного 60–70 мг/дм³.

Вивчення вмісту важких металів у ДВ р. Устя (рис. 1) показало, що максимальний вміст серед шести токсичних елементів в обидва періоди спостережень був характерним для Mn. Так, у 1994 р. концентрація даного елемента мала найвищі показники у верхній частині водотоку (1200 мг/кг у контрольному пункті № 1), далі поступово спадала до 400 мг/кг у середній частині річки, що в межах м. Рівного (пункт № 4), і знову підвищувалась у гирлі (630 мг/кг у пункті № 6).

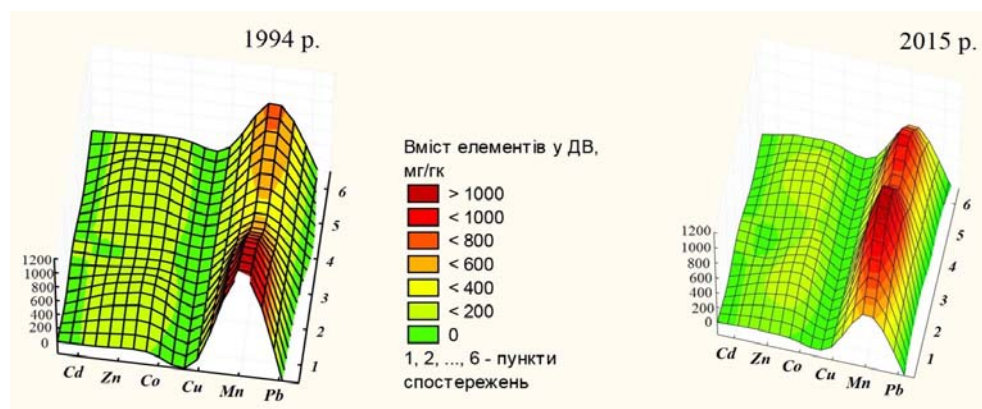


Рис. 1. Вміст важких металів у донних відкладах р. Устя за періоди спостережень

У 2015 р. вміст Mn у ДВ річки суттєво змінився. Зокрема, у верхній частині його концентрація зменшилась майже вдвічі й становила 740 мг/кг у контрольному пункті № 1. Уздовж наступних ділянок річки концентрація Mn коливалась від 700 до 1200 мг/кг, що значно перевищувало показники 1994 р.

Особливу увагу звертає на себе той факт, що в 2015 р. концентрація Mn після дамби Басівкутського водосховища (к.п. № 3) не знижувалась, як у 1994 р., а навіть дещо зростала. Очевидно, властивість марганцю зв'язуватись з іонами кальцію та заліза й осідати на дно у вигляді складних суспензій при замуленні прісноводних водойм є доказом того, що Басівкутське водосховище втрачає очисну функцію для річки внаслідок активної урбанізації водозбору, забруднення екосистеми та осадонакопичення.

Концентрації Cu та Zn у 1994 р. були найвищими в ДВ річки в межах м. Здолбунів, відповідно 100 та 150 мг/кг, що пояснюється впливом розміщеного тут виробництва цементу. Далі за течією концентрація даних елементів помітно спадала,

зрівнюючись у гирлі із концентраціями на витокі, відповідно 20 та 80 мг/кг. Щоправда, у к.п. № 5 (розширена ділянка річки в межах м. Рівного) спостерігалось підвищення вмісту Zn до 150 мг/кг. Відомо, що цинк у ДВ є активним мігрантом та здатен до біогенного накопичення. Імовірно, внаслідок суттєвих структурних змін в умовах урбанізації водозбору екосистема річки не здатна утилізувати даний елемент через біотрансформацію, що й призводить до його акумуляції в осадах.

Осідання міді з природних вод відбувається на межі окислювального і відновлювального середовища, тому вона легко адсорбується гумусом, глинистими мінералами, гідрооксидами марганцю й іншими колоїдними системами. Тому за відсутності алохтонних джерел надходження її концентрації у водних екосистемах швидко знижуються, що, власне, і мало місце в ДВ р. Устя у 1994 р. На протилежність у 2015 р. у к.п. № 3 знов спостерігається зростання вмісту Cu (з 123 до 131 мг/кг), що є ще одним доказом змін у функціонуванні Басівкутського водосховища та втрати його самоочисної функції.

Концентрація цинку в 2015 р. змінюється подібно до своїх коливань у попередній період спостережень і має помітне зростання у к.п. № 5 (з 72 до 144 мг/кг), що, очевидно, пов'язане з впливом урбанізованої території на екосистему річки.

У змінах вмісту Pb в осадах р. Устя також простежується залежність від рівня антропогенного навантаження на різних ділянках русла. Так, у 1994 р. концентрація свинцю у ДВ поблизу витоків становила 15 мг/кг, зростала в межах м. Здолбунів (к.п. № 2) та м. Рівного (к.п. № 5) до 25 і 40 мг/кг відповідно, при істотному зниженні після дамби Басівкутського водосховища (к.п. № 3) до 8 мг/кг. У 2015 р. найнижча концентрація Pb відмічалась лише в к.п. № 1 (11 мг/кг), на інших ділянках водотоку зростала, не знижуючись навіть після Басівкутського водосховища (28 мг/кг), а максимальних значень сягала в к.п. № 5 (39 мг/кг). Імовірно, на сучасному етапі свинець, що здатний утворювати сполуки в кислих водах за окислювальних і глеєвих умов та осідати на лужному геохімічному бар'єрі, депонується в ДВ р. Устя внаслідок замулення русла. Крім того, Pb – активний мігрант, якому не властиве біогенне накопичення, що сприяє його осіданню з поверхневих вод, куди він потрапляє в основному з поверхневим стоком урбанізованих частин водозбору річки.

Концентрація Co, який серед водних мігрантів відноситься до групи малорухомих, також збільшилась у ДВ р. Устя порівняно з 1994 р. Зокрема, у 2015 р. у к.п. № 1 (поблизу витоків) вона змінилась із 8 до 11 мг/кг; у к.п. № 2 (м. Здолбунів) із 5 до 19 мг/кг; у к.п. № 3 (дамба водосховища) із 6 до 17 мг/кг; у к.п. № 4 та № 5 (м. Рівне) із 5 до 15 мг/кг та із 4 до 18 мг/кг відповідно; у к.п. № 6 (гирло річки) із 4 до 9 мг/кг.

Вміст Cd виявився найменшим серед решти елементів, проте якщо в 1994 р. він фіксувався лише в межах м. Здолбунів (0,3 мг/кг), то в 2015 р. також і в межах м. Рівного (0,3 мг/кг як після дамби, так і на розширеній ділянці річки). У межах м. Здолбунів його концентрація дещо збільшилась і становила 0,4 мг/кг. Аналогічно свинцю кадмій легко мігрує в кислих водах за окислювальних та глеєвих умов, випадає в осад на лужному геохімічному бар'єрі та не здатний до біогенного накопичення. Отже, збільшення ділянок його фіксації в ДВ р. Устя можна розцінити як тенденцію негативних змін водної екосистеми, спричинених забрудненням поверхневих вод та замуленням русла.

Зауважимо, що внаслідок уповільненої течії річки не відбувається активного зносу зважених часток, який би сприяв пониженню концентрацій важких металів у поверхневих водах та, у свою чергу, перешкоджав замуленню русла та акумуляції токсичних елементів у ДВ.

Аналіз змін показника сумарного забруднення ДВ (Z_c) р. Устя свідчить, що як відносно середніх фонових значень елементів (табл. 4), так і відносно ГДК хімічних речовин у ґрунтах (табл. 5) показник сумарного забруднення в 2015 р. дещо збільшився.

Таблиця 4

Результати розрахунку сумарного показника забруднення ДВ відносно середніх фонових значень елементів у басейні р. Устя за період спостережень*

№ к.п.	Кратність перевищення фактичного вмісту елементів їх середніх фонових значень						Z_c
	Pb	Mn	Co	Cu	Zn	Cd	
1	<u>1,58</u>	<u>2,55</u>	<u>2,29</u>	<u>1,03</u>	<u>2,29</u>	<u>0,00</u>	<u>1,95</u>
	1,16	1,57	3,14	1,13	1,77	0,00	1,75
2	<u>2,63</u>	<u>2,13</u>	<u>1,43</u>	<u>5,13</u>	<u>4,29</u>	<u>1,60</u>	<u>3,44</u>
	3,05	2,34	5,43	6,31	4,06	1,6	4,56
3	<u>0,84</u>	<u>1,34</u>	<u>1,80</u>	<u>0,62</u>	<u>0,57</u>	<u>0,00</u>	<u>1,03</u>
	2,95	2,55	4,86	6,72	2,29	1,20	4,11
4	<u>1,58</u>	<u>0,85</u>	<u>1,43</u>	<u>1,28</u>	<u>1,86</u>	<u>0,00</u>	<u>1,40</u>
	2,95	1,7	4,29	4,00	2,06	0,00	3,00
5	<u>4,21</u>	<u>1,06</u>	<u>1,14</u>	<u>2,56</u>	<u>4,29</u>	<u>0,00</u>	<u>2,65</u>
	4,11	2,02	5,14	4,36	4,11	1,20	4,19
6	<u>2,11</u>	<u>1,34</u>	<u>1,14</u>	<u>1,03</u>	<u>2,29</u>	<u>0,00</u>	<u>1,58</u>
	2,74	1,49	2,57	1,9	2,57	0,00	2,25

*Тут і далі: у чисельнику – розрахунки за даними вмісту елементів у 1994 р.; у знаменнику – у 2015 р.

Так, у середньому для річки показник Z_c збільшився в 1,6 разу із найбільш помітним збільшенням кратності перевищення фактичних значень Co та Cd відносно їх середніх фонових значень для басейну та регіонального геохімічного фону (відповідно в 2, 8 та 2,5 разу). Вміст Cu у ДВ збільшився в 2,1 разу, Pb та Mn – в 1,3 разу, Zn – в 1,1 разу.

Таблиця 5

Результати розрахунку сумарного показника забруднення ДВ р. Устя відносно ГДК хімічних речовин у ґрунтах за період спостережень*

№ пункту	Кратність перевищення фактичного вмісту елементів їх середніх фонових значень						Z_c
	Pb	Mn	Co	Cu	Zn	Cd	
1	<u>1,69</u>	<u>2,67</u>	<u>2,29</u>	<u>1,12</u>	<u>2,67</u>	<u>0,00</u>	<u>2,09</u>
	1,24	1,64	3,14	1,24	2,07	0,00	1,87
2	<u>2,81</u>	<u>2,22</u>	<u>1,43</u>	<u>5,62</u>	<u>5,00</u>	<u>1,60</u>	<u>3,74</u>
	3,26	2,44	5,43	6,91	4,73	1,60	4,87
3	<u>0,90</u>	<u>1,40</u>	<u>1,80</u>	<u>0,67</u>	<u>0,67</u>	<u>0,00</u>	<u>1,09</u>
	3,15	2,67	4,86	7,36	2,67	1,20	4,38
4	<u>1,69</u>	<u>0,89</u>	<u>1,43</u>	<u>1,40</u>	<u>2,17</u>	<u>0,00</u>	<u>1,51</u>
	3,15	1,78	4,29	4,38	2,4	0,00	3,20
5	<u>4,49</u>	<u>1,11</u>	<u>1,14</u>	<u>2,81</u>	<u>5,00</u>	<u>0,00</u>	<u>2,91</u>
	4,38	2,11	5,14	4,78	4,80	1,20	4,48
6	<u>2,25</u>	<u>1,40</u>	<u>1,14</u>	<u>1,12</u>	<u>2,67</u>	<u>0,00</u>	<u>1,72</u>
	2,92	1,56	2,57	2,08	3,00	0,00	2,43

Серед шести контрольних пунктів найбільш помітною була зміна показника сумарного забруднення ДВ для пункту № 3 (100 м нижче дамби оз. Басів Кут), що зріс майже в 4 рази. У межах м. Рівного, у пунктах № 4 та № 5, показник також збільшився, відповідно в 2,4 та 1,6 разу. У гирлі річки, у пункті № 6, зростання показника становило 1,4 разу. Лише поблизу витоків, у пункті № 1, зміна показника була в бік покращення і становила 0,9 разу.

Однак, незважаючи на зростання показника Z_c , рівень забруднення ДВ р. Устя в 2015 р., як і двадцять років тому, характеризується як «слабкий», а рівень вмісту токсичних елементів як «слабопідвищений».

Крім того, розрахунок показника Z_c дозволив відстежити, що в середньому для річки, за даними 1994 р., небезпека забруднення ДВ відносно фонових значень зменшувалась у ряді: Zn (2,6), Pb (2,16), Cu (1,94), Mn (1,55), Co (1,54), Cd (0,27); відносно санітарно-гігієнічних критеріїв (ГДК хімічних речовин у ґрунтах) у ряді: Zn (3,03), Pb (2,3), Cu (2,13), Mn (1,61), Co (1,54), Cd (0,27). За даними 2015 р., порядок розташування елементів дещо змінився та відносно фонових значень мав вигляд: Co (4,24), Cu (4,07), Pb (2,82), Zn (2,81), Mn (1,95), Cd (0,67), а відносно санітарно-гігієнічних критеріїв: Cu (4,46), Co (4,24), Zn (2,28), Pb (3,01), Mn (2,03), Cd (0,67).

Існує думка, що об'єднання хімічних елементів у групи для оцінки їх сумісної дії необхідно проводити на підставі подібності їх властивостей або токсикологічної шкідливості для живих організмів. Проте на цей час це питання вивчене недостатньо та потребує постановки спеціальних досліджень. Саме тому для отримання уявлення забруднення ДВ окремими важкими металами користуються індексами геоаккумуляції токсичних елементів.

Розрахунки останніх дозволили отримати характеристику рівнів забруднення та техногенного навантаження на р. Устя та порівняти їх зміну за обидва періоди спостережень. Для покращення візуального сприйняття інформації отримані результати представлено у вигляді карто-схем забруднення донних відкладів р. Устя важкими металами.

Так, у 1994 р. за вмістом Pb ДВ р. Устя відповідали переважно першому іgeo-класу (до помірно забруднених), що характеризувало гідроекосистему як «зона норми» із задовільним станом донних відкладів (рис. 2).

Виключення становили к.п. № 3 (після дамби водосховища), де ДВ за вмістом свинцю належали до нульового іgeo-класу (незабруднені зі слабким техногенним навантаженням) та к.п. № 5 (розширена ділянка в межах м. Рівного), де ДВ відносились до другого іgeo-класу (помірно забруднені з помірним техногенним навантаженням), що характеризувало гідроекосистему як «зона ризику» із несприятливим станом донних відкладів.

За вмістом Mn донні відклади річки належали до шостого іgeo-класу в к.п. № 1 та к.п. № 2 (надзвичайно забруднені, з посиленням техногенним навантаженням), у к.п. № 3, № 5 та № 6 стан ДВ мав п'ятий іgeo-клас (до надзвичайно забруднених із суттєвим техногенним навантаженням), і лише в центрі м. Рівного знижувався до четвертого (сильнозабруднені із суттєвим техногенним навантаженням).

За вмістом Co та Cd осади р. Устя відповідали нульовому іgeo-класу по всьому руслу річки, за виключенням вмісту Cd у к.п. № 2 (м. Здолбунів). У цьому ж пункті відмічався найгірший стан ДВ за вмістом Cu, що відносився до третього іgeo-класу (середньозабруднені з помірним техногенним навантаженням). У к.п. № 5 (розширена ділянка в межах м. Рівного) вміст міді мав другий іgeo-клас, у к.п. № 3 (після дамби) нульовий, на інших ділянках русла перший іgeo-клас.

За вмістом Zn донні відклади річки мали порівняно гірші характеристики, у яких також простежувалась просторова динаміка. Так, четвертий іgeo-клас фіксувався в к.п. № 2 та к.п. № 5 (сильнозабруднені із суттєвим техногенним навантаженням). На витоці та в гирлі річки вміст цинку в ДВ характеризувався третім іgeo-класом. Найкращою була ситуація в к.п. № 3 та к.п. № 4, де ДВ за вмістом Zn мали перший та другий іgeo-класи відповідно.

У 2015 р. (рис. 3) за вмістом Pb донні відклади р. Устя мали переважно другий іgeo-клас (помірно забруднені, помірне техногенне навантаження), за виключенням к.п. № 1 та к.п. № 6, де іgeo-клас був нульовим та першим відповідно (незабруднені, слабе техногенне навантаження). За вмістом Mn ДВ відносились до п'ятого іgeo-класу в к.п. № 1, 4, 6 та до шостого в к.п. № 2, 3, 5 (сильнозабруднені при суттєвому техногенному навантаженні та надзвичайно забруднені при посиленому навантаженні відповідно).

Четвертий іgeo-клас фіксувався за вмістом Cu в к.п. № 2 та № 3 і за вмістом Zn в к.п. № 2 та № 5 (сильнозабруднені при суттєвому техногенному навантаженні).

Третій ігео-клас мали ДВ річки за вмістом Cu у к.п. № 4 та № 5 і за вмістом Zn у к.п. № 3, 4, 6 (середньозабруднені при помірному техногенному навантаженні). Поблизу витоків річки, у к.п. № 1, за вмістом міді та цинку ДВ характеризувались першим (до помірно забруднених при слабкому техногенному навантаженні) та другим ігео-класом (помірно забруднені при помірному техногенному навантаженні) відповідно. У гирлі р. Устя вміст Cu відносив ДВ до другого, вміст Zn – до третього ігео-класу. Ситуація з Co та Cd була повністю ідентична 1994 р.

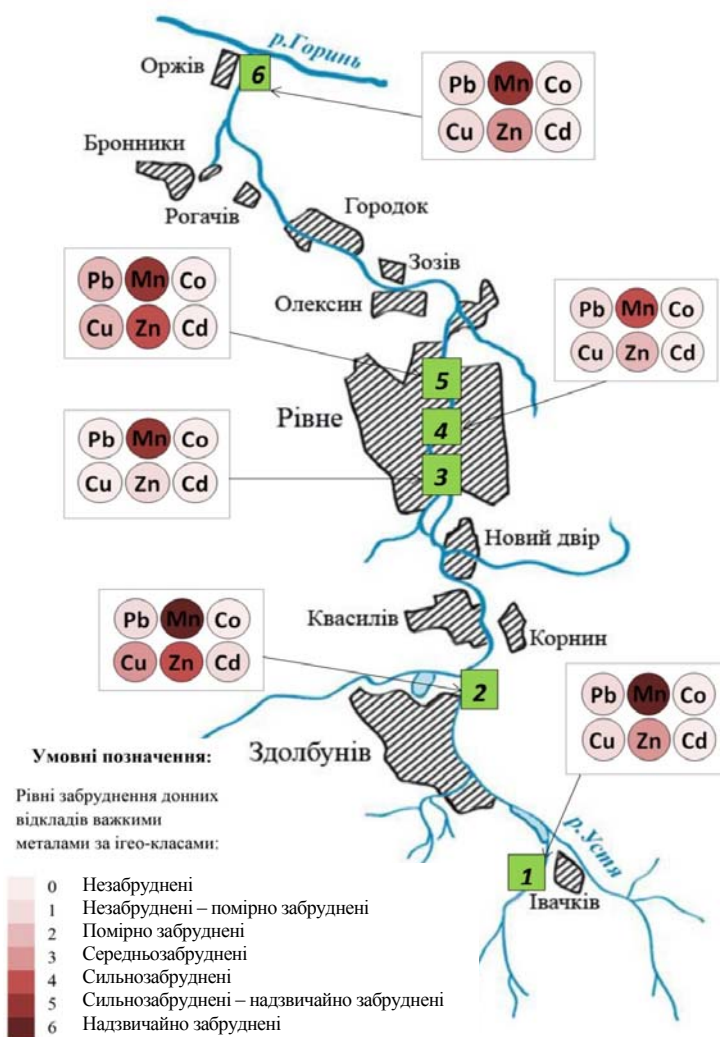


Рис. 2. Картошхема рівнів забруднення донних відкладів р. Устя важкими металами за ігео-класами (Muller, 1979), 1994 р.

Таким чином, проведені дослідження вперше дозволили з'ясувати, що за двадцятирічний період у загальному екологічному стані ДВ р. Устя покращення не відбулося. Техногенне навантаження на гідроекосистему, оцінене за вмістом важких металів, послабилось лише на ділянці річки поблизу витоків. Цей факт розглядається як наслідок зменшення застосування різних засобів хімізації (мінеральних добрив, отрутохімікатів, компостів, стічних вод і відходів тваринництва) на агроландшафтах даної частини басейну.

Решта ділянок руслу річки зазнала погіршення стану ДВ, що особливо помітно в межах урбанізованих територій за вмістом таких елементів, як Mn, Cu, Zn та Pb. Доказом посилення негативного впливу на гідроекосистему є помітне зростання концентрацій металів в осадах після дамби Басівкутського водосховища в 2015 р., порівняно з даними за 1994 р.

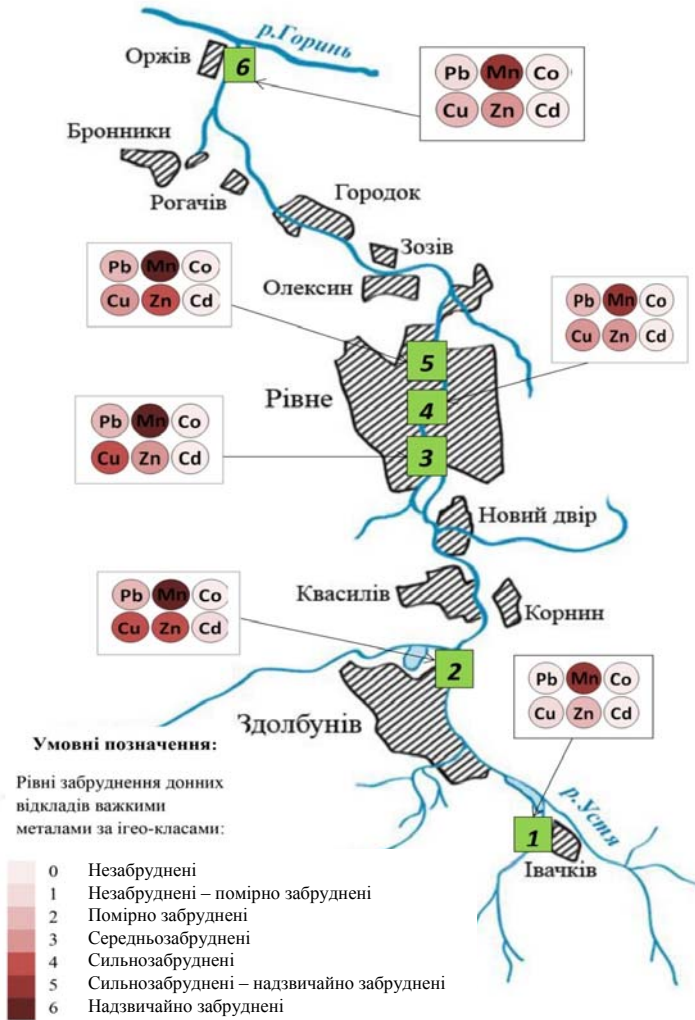


Рис. 3. Картохема рівнів забруднення донних відкладів р. Устя важкими металами за ігео-класами (Muller, 1979), 2015 р.

Необхідно зазначити, що в обидва періоди спостережень у ДВ верхньої частини річки надзвичайно високий вміст був характерний для Mn. І якщо в 1994 р. він помітно знижувався в середній частині течії, то в 2015 р. його значні концентрації спостерігались в осадах уздовж усього руслу. Очевидно, тут мають місце геохімічні особливості басейну річки, однак ситуація 2015 р. свідчить про зміну стану ДВ за вмістом Mn під дією антропогенних факторів.

ВИСНОВКИ

Результати аналізу геохімічних змін донних відкладів малої річки Устя за період з 1994 до 2015 р. дозволили узагальнити таке:

1. Концентрації таких елементів, як Cu, Zn, Pb, Co та Cd, у ДВ за даними 2015 р. виявились підвищеними порівняно з 1994 р., за виключенням верхньої частини річки. Однак тут мають місце геохімічні аномалії вмісту Mn, що в 2015 р. зберігаються вздовж усього русла. У межах урбанізованих територій особливо помітно зросли концентрації Cu, Zn та Pb.

2. Рівень техногенного навантаження, оцінений за показником сумарного забруднення ДВ важкими металами в обидва періоди спостережень, виявився «слабким» при вмісті токсичних елементів «слабкопідвищених». При цьому, якщо в 1994 р. у ряду небезпеки забруднення ДВ як відносно фонових значень, так і відносно санітарно-гігієнічних критеріїв (ГДК) першість мали такі елементи, як Zn, Pb та Cu, то в 2015 р. серед них з'являється Co.

3. Рівень забруднення ДВ за іgeo-класами виявляє переважно «суттєве» і «посилене» навантаження на різних ділянках річки за вмістом Mn (5–6-й класи) в обидва періоди спостережень; за вмістом Cu та Zn від «слабкого» до «помірного» у 1994 р. (1–3-й класи) та від «слабкого» до «суттєвого» в 2015 р. (2–4-й класи); за вмістом Pb «слабке» (1-й клас) у 1994 р. та «помірне» у 2015 р.; вміст Co та Cd у обидва періоди характеризує техногенне навантаження на гідроекосистему як «слабке» (0–1-й класи).

4. Використані методики оцінки дозволили відстежити різні аспекти в характері забруднення ДВ важкими металами та з'ясувати, що в сучасний період осади р. Устя відіграють роль акумулятора продуктів антропогенезу на фоні геохімічних аномалій окремих елементів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Arsan, O. M., Sytnyk, Yu. M., Gorbatyuk, L. O., Myronyuk, M. O., Pasichna, O. O., Platonov, M. O., Shapoval, T. M., Kuklya, I. G., 2010. Osoblyvosti formuvannya suchasnoho ekoloho-toksykologichnoho stanu vodoym urbanizovanykh terytoriy ta yoho mozhlyvi zminy [Features of the formation of modern eco-toxicological state of water in urban areas and its possible changes]. *Nauk. zap. Ternop. nac. ped. un-tu. Ser. Biol.* 2(43), 14–17 (in Ukrainian).
- Bricke, M. Je., 1982. Atomno-absorbcionnyj spektrohicheskij analiz [Atomic absorption spectrochemical analysis]. *Khimija, Moscow* (in Russian).
- DSanPiN 2.2.7.029-99. «Hihiyenichni vymohy shchodo povodzhennya z promyslovymy vidkhodamy ta vyznachennya yikh klasu nebezpeky dlya zdorovya naselennya» [Hygienic requirements for industrial waste management and determination of their class of danger to public health] (in Ukrainian).
- DSTU ISO 5667-12-2001. Yakist vody. Vidbyrannya prob. Chastyna 12. Nastanovy shchodo vidbyrannya prob donnykh vidkladiv (ISO 5667-12:1995, IDT) [Water quality. Sampling. Part 12 Guidance on sampling of bottom sediments] (in Ukrainian).
- Falkowska, E., 2015. The significance of morphogenetic analysis in the assessment of soil–water conditions in Quaternary sediments. *Geomorphology* 246, 420–432.
- Grishanin, K. V., Sorokin, Ju. I., 1982. *Gidrologija i vodnye izyskanija* [Hydrology and water research]. Transport, Moscow (in Russian).
- Hanan, S., 2014. Aquatic environmental monitoring and removal efficiency of detergents. *Water Science* 28, 51–64.
- Kenney, W., Brenner, M., Arnold, E., Curtis, J., Schelske C., 2016. Sediment cores from shallow lakes preserve reliable, informative paleoenvironmental archives despite hurricane-force winds. *Ecological Indicators* 60, 963–969.
- Klymenko, M. O., Zalesky, I. I., 2010. Ekoekhimichny stan donnykh vidkladiv r. Ustyа [Ecogeochemical state of bottom sediments of the river Ustyа]. *Naukovyy zbirnyk «Hidrolohiya, hidrokhiimiya i hidroekolohiya»*. Kyiv. 18, 187–191 (in Ukrainian).
- Konovets, I. M., Kipnis, L. S., Honcharova, M. T., Podruhina, A. B., Sytnyk, Yu. M., 2003. Ekoloho-toksykologichne doslidzhennya rivniv zabrudnennya vody ta donnykh vidkladiv r. Nyvka v rayoni aeroportu «Kyiv» [Ecological and toxicological studies of water contamination and sediments p. Nyvka near the airport

- «Kyiv»). Rybohospodarska nauka Ukrayiny 2, 32–44 (in Ukrainian).
- Larina, N. S., Shelpakova, N. A., Larin, S. I., Dunaeva, A. P., 2008. Ocenka himiko-jekologicheskogo sostojanija vodoemov po rezul'tatam analiza vod i donnyh otlozhenij [Evaluation of chemical and ecological status of water bodies as a result of water and sediment analysis]. Uspehi sovremennogo estestvoznaniya 7, 56–58 (in Russian).
- Linnik, P. N., 1999. Donnye otlozhenija vodoemov kak potencialnyj istochnik vtorichnogo zagrjaznenija vodnoj sredy soedinenijami tjazhelyh metallov [Bottom sediments of water bodies as a potential source of secondary pollution of the water environment of heavy metal compounds]. Hidrobiologicheskij zhurnal 35(2), 97–107 (in Russian).
- Muller, G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seit. Umschan. 79, 329–352.
- Otmahov, V. I., 2003. Metodika ocenki jekologicheskoy bezopasnosti vodnogo basejna po zagrjazneniju vodnih otlozhenij [Methods of assessing the environmental safety of the water basin for sediment pollution of water]. Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta 306(3), 39–41 (in Russian).
- Perelman, A. I., 1979. Geohimija [Geochemistry]. Vyssh. Shkola, Moscow (in Russian).
- Rickson, R. J., 2014. Can control of soil erosion mitigate water pollution by sediments? Science of The Total Environment 468–469, 1187–1197.
- Sun, W., Yu, J., Xu, X., Zhang, W., Liu, R., Pan, J., 2014. Distribution and sources of heavy metals in the sediment of Xiangshan Bay. Acta Oceanol 33, 101–107.
- Trofimov, V. T., Ziling, D. G., 2002. Ekologicheskaja geologija [Environmental geology]. ZAO «Geoinformmark», Moscow (in Russian).
- Zhang, X., Li, Z., Li, P., Cheng, S., Zhang, Y., Tang, S., Wang, T., 2015. A model to study the grain size components of the sediment deposited in aeolian–fluvial interplay erosion watershed. Sedimentary Geology 330, 132–140.

Стаття надійшла в редакцію 22.10.2016