

ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ВОДІ р. ДУНАЙ В МЕЖАХ УКРАЇНИ

О. Г. Васенко, А. Ю. МельниковНауково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП)
вул. Бакуліна, 6, м. Харків, 61166, Україна. E-mail: alexandr.vasenko@gmail.com; atlonpc@ukr.net

Наведені результати досліджень валового вмісту та розчинних форм Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cd, Hg, Pb та Cr у воді р. Дунай на території України відібраної в десяти пунктах спостереження в квітні та серпні 2017 року. Отримані дані були проаналізовані та порівняні з українськими нормативами для комунально-побутового та рибогосподарчого водокористування та рекомендованими цільовими рівнями Транснаціональної моніторингової мережі (TNMN). Визначені метали вміст яких перевищує один або більше зазначених нормативів, а саме Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg. Досліджувані елементи були проранжовані за вмістом важких металів, отримано наступний ряд: Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Cr > Pb > Co > Cd > Hg. Проведено порівняння валового вмісту важких металів у воді з вмістом їх розчинених форм на основі якого побудовано ряд за збільшенням співвідношення розчинена форма / валовий вміст: квітень – Mn > Cr > Pb > Cu > Zn > Ni > Co > Fe > Cd; серпень – Cr > Ni > Mn > Cu > Fe.

Ключові слова: важкі метали, валовий вміст, розчинені форми, р. Дунай.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ р. ДУНАЙ В ПРЕДЕЛАХ УКРАИНЫ

А. Г. Васенко, А. Ю. Мельников

Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем» (УКРНИИЭП)

ул. Бакулина, 6, г. Харьков, 61166, Украина. E-mail: alexandr.vasenko@gmail.com; atlonpc@ukr.net

Приведены результаты определения валового содержания и растворимых форм Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cd, Hg, Pb и Cr в воде р. Дунай на территории Украины отобранной в десяти пунктах наблюдения в апреле и августе 2017 года. Полученные данные были проанализированы и сопоставлены с украинскими нормативами для коммунально-бытового и рыбохозяйственного водопользования и рекомендованными целевыми уровнями Транснациональной мониторинговой сети (TNMN). Выявлены металлы, содержание которых превышает один или несколько указанных нормативов, а именно Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg. Исследуемые элементы были проранжированы по содержанию тяжелых металлов, получен следующий ряд: Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Cr > Pb > Co > Cd > Hg. Проведено сравнение валового содержания тяжелых металлов в воде и с содержанием их растворенных форм на основе которого построен ряд по возрастанию соотношения растворенная форма / валовое содержание: апрель - Mn > Cr > Pb > Cu > Zn > Ni > Co > Fe > Cd; август - Cr > Ni > Mn > Cu > Fe.

Ключевые слова: тяжелые металлы, валовое содержание, растворенные формы, р. Дунай.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Дунай – друга за величиною ріка Європи. На території цього найбільшого міжнародного річкового басейну проживає 80 млн. чол. В її межах знаходяться 17 країн, а забруднення навколишнього середовища є серйозною проблемою, як для Дунайського басейну в цілому, так і для ділянки р. Дунай розташованого в на території України [1]. Забруднення важкими металами (ТМ) водного середовища і донних відкладень р. Дунай на території України носить системний характер [2].

Визначення вмісту важких металів у воді р. Дунай є невід'ємною частиною програм моніторингу вод р. Дунай країн розташованих в його межах. Зокрема в системі транскордонного моніторингу р. Дунай (TNMN) контролюють вміст Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cd, Hg, Pb, Cr [3].

Важкі метали, зокрема Mn, Fe, Co, Cu, Zn у біотичних дозах беруть участь у механізмах регуляції обміну речовин, входять до складу вітамінів, ферментів гормонів, а в надлишкових кількостях призводять до порушення життєво важливих фізіологічних функцій. Інші (Hg, Pb, Cd) мають токсичні властивості та виявляють канцерогенну й мутагенну дію. Важливою особливістю ВМ є те, що вони на відміну від органічних сполук, не зазнають розкладання, а схильні до накопичення в екосистемі, перерозподіляючись лише між її різноманітними компонентами[4].

Окрім біологічної ролі, важливу роль у впливі важких металів на біоту відіграє біодоступність, яка

залежить, як від вмісту хімічних речовин (жорсткість, рН) [5], так і форми знаходження важких металів в водотоці [6]. В особливості, для р. Дунай у воді якої міститься значна кількість завислих речовин, важливо враховувати не тільки валову кількість важких металів у воді, але й вміст їх розчинених форм

Таким чином дослідження вмісту важких металів у воді р. Дунай на території України є одною з пріоритетних задач. При цьому необхідно звертати увагу на доступність форм важких металів для живих організмів.

Мета роботи полягає у дослідженні вмісту десяти важких металів (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cd, Hg, Pb, Cr) у воді р. Дунай на території України, за для встановлення закономірностей розподілу важких металів в системі вода – завислі речовини, а також вивчення кількісних характеристик вмісту важких металів у воді р. Дунай в весняний та літній період.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Відбір проб проводили в пунктах розташованих на українській ділянці р. Дунай в квітні та серпні 2017 року, схематичне розташування пунктів відбору (на основі картосхеми [7]) представлено на рисунку 1, також додаткові данні представлені в таблиці 1.

Відбір проб виконано відповідно до вимог ДСТУ ISO 5667-6, фільтрування для визначення вмісту розчинених форм важких металів проводили на місці відбору.

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

усередненні по наступних ділянках (таблиця 3).

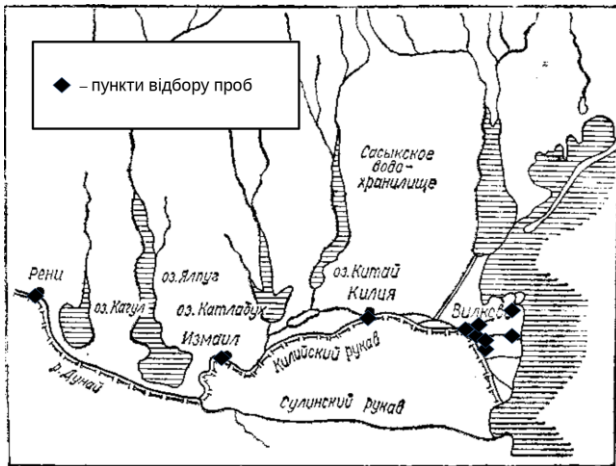


Рисунок 1 – Пункти відбору проб

Таблиця 1 – Пункти спостереження

Відстань від гирла, км	Розташування пункту спостереження
163	Вище м. Рені
89	м. Ізмаїл
49	м. Кілія
21	м. Вілкове
17	рукав Очаківський, 17км
6	рукав Очаківський 6 км
11	рукав Старостамбульський 11 км
10	рукав Старостамбульський 10 км
9	рукав Бистрий 9 км
1	рукав Бистрий 1 км

Відібрані проби консервували з розрахунку 1 см³ концентрованої азотної кислоти на 500 см³ проби, контролювали рН, який в усіх пробах після консервації, під час транспортування та зберігання був менший 2. Проби транспортували до лабораторії, вміст важких металів визначали атомно-абсорбційною спектрометрією з полум'яною та електротермічною атомізацією на приладі Hitachi Z-8000 з зсманівською корекцією фону, за відповідними методиками виконання вимірювань наведеними в таблиці 2. Валовий вміст ртуті у воді визначали за допомогою атомно-флуорисцентного методу на приладі Millennium Merlin. Для визначення вмісту деяких важких металів атомно-абсорбційним методом з електротермічною атомізацією нижче межі кількісного виявлення за наведеними методиками, вимірювання проводили за зміненою процедурою, яка включала попереднє концентрування упарюванням в 10 разів та відповідну обробку аналітичного сигналу для виключення впливу матриці. Усі визначення проводились тричі, також для перевірки правильності вимірювань використовували метод добавок. Характеристики похибок результатів вимірювань задовольняють вимогам ДСТУ ГОСТ 27384 для поверхневих вод.

Враховуючи те, що при відборі проб не враховуюся час добігання водних мас від одного пункту до іншого, та географічний розподіл пунктів спостереження отримані результати були

Таблиця 2 – Методики вимірювання

Елемент	Методика виконання вимірювань
Fe	МВВ № 081/12-0415-07
Mn	МВВ № 081/12-0416-07
Zn	МВВ № 081/12-0413-07
Cd	МВВ № 081/12-0455-07
Pb	МВВ № 081/12-0452-07
Co	МВВ № 081/12-0824-12
Cu	МВВ № 081/12-0454-07
Ni	МВВ № 081/12-0823-12
Cr	МВВ № 081/12-0652-09
Hg	ЕРА 245.7

Таблиця 3 – Відомості щодо ділянок та віднесених до них пунктів

Назва ділянки	Пункти, які до неї входять
р. Дунай	Вище м. Рені
рукав Кілійський	м. Ізмаїл м. Кілія м. Вілкове
Кілійська дельта	рукав Очаківський, 17км рукав Очаківський 6 км рукав Старостамбульський 11 км рукав Старостамбульський 10 км рукав Бистрий 9 км рукав Бистрий 1 км

Запропоновані ділянки характеризуються наступним чином:

1. р. Дунай – відображає кількості важких металів, які надходять на українську територію з країн розташованих вище за течією.

2. Рукав Кілійський – об'єднує пункти розташовані в районах розташування населених пунктів м. Ізмаїл, м. Кілія, м. Вілкове.

3. Кілійська дельта – об'єднує пункти розташовані в Кілійській дельті, зокрема на територіях, які належать до Дунайського біосферного заповідника.

Усредненні по наведеним ділянкам результати визначення металів представлені в таблицях 4-5. Також наведені співвідношення між валовою та розчиненою формами, для порівняння представлені нормативи гранично допустимих концентрацій для рибогосподарчого (ГДКр-г) [8] та культурно-

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

побутового (ГДКк-пб) [9] водокористування, а також цільові значення згідно рекомендацій TNMN [5] (значення подані для валового вмісту(ВВ) та розчинених форм(РФ)). Для тих випадків, де отримане значення було нижче межі кількісного виявлення, для усереднення, використовували значення, яке дорівнює половині від межі кількісного виявлення.

Треба зазначити, що при проведенні нами моніторингових робіт, вміст завислих речовин не визначався. Відповідно до даних попереднього року [10], та результатами моніторингових робіт на української частині р. Дунай, які проводить УКРНДІЕП вже більше 10 років, вміст завислих речовин у воді р. Дунай в квітні зазвичай в 2-3 рази більший ніж у серпні.

Таблиця 4 – Результати визначення вмісту Fe, Mn, Zn, Ni, Cu у воді р. Дунай

Ділянка	Fe		Mn		Zn		Ni		Cu	
	квітень	серпень	квітень	серпень	квітень	серпень	квітень	серпень	квітень	серпень
Валовий вміст, мкг/дм ³										
р. Дунай	1200	360	51	24	23	менше 10	10	3,0	6,3	2,1
рукав Кілійський	570	340	41	30	39	менше 10	6,0	3,9	5,4	2,2
Кілійська дельта	810	480	42	35	22	менше 10	5,0	2,9	3,2	2,4
Розчинені форми, мкг/дм ³										
р. Дунай	220	130	32	19	12	менше 10	5,4	2,5	2,0	1,6
рукав Кілійський	360	180	27	23	12	менше 10	2,3	2,9	3,8	1,2
Кілійська дельта	270	190	19	20	15	менше 10	2,6	2,1	1,9	1,8
Співвідношення розчинна форма / валовий вміст, %										
р. Дунай	18	36	63	79	52	-	54	83	32	76
рукав Кілійський	63	53	66	77	31	-	38	74	70	55
Кілійська дельта	33	40	45	57	68	-	52	72	59	75
Середні значення	38	43	58	71	50		48	76	54	69
Нормативи вмісту металу у воді мкг/дм ³										
ГДК к-пб	300		100		1000		100		1000	
ГДК р-г	50		10		10		10		5	
TNMN (ВВ)	-		-		100		50		20	
TNMN (РФ)	-		-		5		1		2	

Розглянувши отримані результати встановлено перевищення одного або більше з наведених нормативів за вмістом Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg у воді. Зокрема вміст розчинених форм Cr, Zn, Ni, Cu перевищує цільові значення за рекомендаціями TNMN.

Середній вміст важких металів по двом експедиціям за усіма пунктам складає, для валового вмісту Fe – 630 мкг/дм³; Mn – 37 мкг/дм³; Zn – 17 мкг/дм³; Cu – 3,6 мкг/дм³; Ni – 5,1 мкг/дм³; Cr – 2,8 мкг/дм³; Pb – 0,94 мкг/дм³; Co – 0,93 мкг/дм³; Cd – 0,059 мкг/дм³; Hg – 0,041 мкг/дм³; для розчинених форм Fe – 230 мкг/дм³; Mn – 23 мкг/дм³; Zn – менше 10 мкг/дм³; Ni – 3,0 мкг/дм³; Cu – 2,1 мкг/дм³; Cr – 1,9 мкг/дм³; Pb – 0,45 мкг/дм³; Co – 0,28 мкг/дм³; Cd – 0,016 мкг/дм³.

У квітні відмічається більший вміст важких металів у воді р. Дунай на території України, ніж

у серпні, при чому більші значення реєструються, як за валовим вмістом так і за розчиненими формами. Треба відмітити, що за розрахованими співвідношення між кількостями розчинених форм та валовим вмістом можна зробити висновок, що більша частина Fe, Cd та Co знаходяться в водотоці в складі суспендованих часток. За отриманими результатами видно, що на різних обраних ділянках переважаючим може бути для одного і того ж важкого металу, як на суспендованих частках так і в розчиненій формі. Такі мінливості в співвідношенні вмісту важких металів на суспендованих частках та в розчиненій формі, зумовлені як гідрологічними так і гідрохімічними процесами, в особливості підчас змиву часток з донних відкладів та процесами сорбції десорбції металів на суспендованих частках.

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

Таблиця 5 – Результати визначення вмісту Cr, Pb, Co, Cd, Hg у воді р. Дунай

Ділянка	Cr		Pb		Co		Cd		Hg	
	квітень	серпень	квітень	серпень	квітень	серпень	квітень	серпень	квітень	серпень
Валовий вміст, мкг/дм ³										
р. Дунай	5,4	1,9	2,0	0,52	1,3	0,28	0,072	0,026	менше 0,02	0,04
рукав Кілійський	3,4	1,8	1,2	0,29	1,3	1	0,18	0,016	0,05	0,03
Кілійська дельта	2,5	1,7	1,35	0,28	1,2	0,5	0,044	0,016	0,091	0,022
Розчинені форми, мкг/дм ³										
р. Дунай	4	1,3	0,92	менше 0,2	0,36	менше 0,1	0,031	менше 0,004	-	-
рукав Кілійський	2,1	1,6	0,75	менше 0,2	0,56	менше 0,1	0,043	менше 0,004	-	-
Кілійська дельта	0,9	1,5	0,72	менше 0,2	0,60	менше 0,1	0,018	менше 0,004	-	-
Співвідношення розчинна форма / валовий вміст, %										
р. Дунай	74	68	46	менше 38	28	менше 36	43	менше 15	-	-
рукав Кілійський	62	89	63	менше 69	43	менше 10	24	менше 25	-	-
Кілійська дельта	36	88	53	менше 71	50	менше 20	41	менше 25	-	-
Середні значення	57	82	54	-	40	-	36	-	-	-
Нормативи вмісту металу у воді мкг/дм ³										
ГДК к-пб	-	-	30	-	100	-	1	-	0,5	-
ГДК р-г	-	-	100	-	10	-	5	-	0,01	-
TNMN (ВВ)	50	-	5	-	-	-	1	-	0,1	-
TNMN (РФ)	2	-	1	-	-	-	0,1	-	0,1	-

Порівняно з ретроспективними даними [7], вміст Cu, Pb та Cr у воді значно знизився (Cu більше ніж в 3 рази, Pb більш ніж в 4 рази, Cr більш ніж в 10 разів). За співвідношення між валовим вмістом металів та розчиненими формами, порівняно з даними [7] виявлена відсутність змін за Cu, Zn. Значне збільшення вмісту розчинених форм порівняно з даним 1985–1989 зафіксоване для таких елементів Mn, Cr, Pb. Для інших металів в роботі «Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов» [7] дані не представлені.

Порівнюючи вміст металів на різних ділянках, найбільш значення спостерігаються в квітні у пункті вище м. Рені (ділянка р. Дунай) для таких металів, як Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Pb. У серпні вміст більшості елементів на усіх ділянках досить близький, лише вміст свинцю та кадмію більший в пункті вище м. Рені (ділянка р. Дунай).

За валовим вмістом важких металів у воді побудована наступна послідовність:

квітень – Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Cr > Pb > Co > Cd > Hg;

серпень – Fe > Mn > Ni > Cu > Cr > Co > Pb > Hg

> Cd.

За вмістом розчинених форм:

квітень – Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Cr > Pb > Co > Cd;

серпень – Fe > Mn > Ni > Cu > Cr.

Якщо порівнювати отримані закономірності з відповідними рядами, побудованими на основі кларків розчинених форм цих металів в річковій воді [11], то відповідний ряд за кларками буде мати наступний вигляд: Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Cr > Pb > Co > Cd > Hg. Відхилення від побудованого ряду спостерігається за такими металами, як Mn і Ni. Як вказано в [12] в донних відкладах дельти Дунаю спостерігається досить високий вміст Ni, що вірогідно пов'язано з наявністю на території Румунії порід збагачених цим елементом.

За результатами визначення вмісту важких металів у воді побудовані ряди за зменшенням частки розчинених форм важких металів, отримано наступні ряди:

квітень – Mn > Cr > Pb > Cu > Zn > Ni > Co > Fe > Cd;

серпень – Cr > Ni > Mn > Cu > Fe.

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

Відомо, що більшу загрозу для живих організмів становлять розчинені форми металів, бо вони є більш доступними для живих організмів [5]. Відповідно до отриманих результатів в квітні місяці встановлено, що в середньому більше 42 % (Mn), 43 % (Cr) знаходяться на суспендованих частках, в серпні на зависях знаходяться лише 18 % (Cr) та 29 % (Mn), але при цьому валовий вміст важких металів в серпні загалом нижчий у два рази. Враховуючи той факт, що кількість суспендованих часток в серпні нижча, існує можливість того, що надходження важких металів до води р. Дунай шляхом десорбції з суспендованих часток досить значне. Для підтвердження або спростування цього факту необхідно проведення додаткових досліджень.

ВИСНОВКИ. В результаті проведеного дослідження визначено вміст важких металів у воді р. Дунай на території України. Проведено порівняння отриманих результатів з деякими українськими нормативами та рекомендаціями TNMN, які регламентують вміст важких металів у масивах поверхневих вод. В результаті визначено вміст яких важких металів у воді перевищує використані нормативи, а саме Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg. Також встановлені закономірності вмісту важких металів в воді, розподілу в системі вода - завислі речовини. Отримані результати є базовими для проведення подальших досліджень процесів міграції важких металів в екосистемі дельти р. Дунай. Також проведені дослідження є важливими в системі управління екологічною безпекою придунайського регіону, при розробці та удосконаленні програм моніторингу забруднюючих речовин в р. Дунай, захисті здоров'я населення та екосистеми дельти р. Дунай від надмірного впливу важких металів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Всемирный фонд дикой природы, Видение дельты Дуная. – Вена–Одесса, – 2002. – 231 с.
2. Гриценко А. В., Васенко О. Г. Місце екологічного моніторингу у вирішенні проблем розвитку Придунав'я // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. – 2015. – Вип. 37. – С. 3–18.

3. Water Quality in the Danube River Basin - 2006. TNMN – Yearbook 2006. / ICPDR – Vienna, Austria. – 2008.

4. Клебанов Д.О., Осадча Н.М. Оцінка вносу сполук важких металів водами р. Дунай у сучасний період // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. – 2012. – № 263. С. 131–151.

5. Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 288 с.

6. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 270с

7. Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов / под. ред. В. Д. Романенко – К. : Наукова думка, 1993. – 325 с.

8. Обобщенный перечень предельно-допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. / Утв. Главрыбводоом Минрыбхоза СССР 09.08.90 №12-04-11. – М.: Минрыбхоз СССР, 1990.

9. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения: СанПиН 4630-88. – М.: Мин. здрав. СССР, 1988.

10. Зведений заключний звіт про наукову роботу «Комплексний екологічний моніторинг довкілля під час експлуатації глибоководного суднового ходу р. Дунай-Чорне море у 2016-2017 роках. Район Морського підхідного каналу» // Харків:УКРНДІЕП. – 2016 р.

11. Соловов А. П., Архипов А. Я., Бугров В. А. и др. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. – М.: Недра, – 1990.

12. Vignati D. A.L. et al. Trace element contamination in the arms of the Danube Delta (Romania/Ukraine): Current state of knowledge and future needs // Journal of Environmental Management – 2013. – vol. 125. – pp. 169-178.

INVESTIGATION OF HEAVY METALS CONCENTRATION ON THE UKRAINIAN PART OF THE DANUBE RIVER

O. Vasenko, A. Melnikov

Scientific Research Institution "Ukrainian Scientific Research Institute of Environmental Problems"(USRİEP)
vul. Bakulina st., 6, Kharkiv, 61166, Ukraine. E-mail: alexandr.vasenko@gmail.com; atlonpc@ukr.net

Purpose. Contamination by heavy metals is a problem of the Ukrainian part of the Danube nowadays and in a future. Heavy metals content monitoring in parts of the Danube ecosystem is a need for this problem resolve. In this work we introduce result of heavy metals determination in the Danube's water collected in April and August 2017 in ten sampling points on the ukrainian part of the danube. **Methodology.** Samples were analyzed by atomic-absorption and atomic-fluorescence (Hg) techniques. **Results.** In the result total and dissolved forms of heavy metals have been obtained: total amount – Fe – 630 µg/l; Mn – 37 µg/l; Zn – 17 µg/l; Cu – 3,6 µg/l; Ni – 5,1 µg/l; Cr – 2,8 µg/l; Pb – 0,94 µg/l; Co – 0,93 µg/l; Cd – 0,059 µg/l; Hg – 0,041 µg/l; dissolved forms – Fe – 230 µg/l; Mn – 23 µg/l; Zn – <10 µg/l; Ni – 3,0 µg/l; Cu – 2,1 µg/l; Cr – 1,9 µg/l; Pb – 0,45 µg/l; Co – 0,28 µg/l; Cd – 0,016 µg/l. Results was compared with national and TNMN normative. Concentration of Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg were greater than normative. Sequences based on relation between dissolved form / total amount were built. The resulting sequences look like: April – Mn > Cr > Pb > Cu > Zn > Ni > Co > Fe > Cd; August – Cr > Ni > Mn > Cu > Fe ranged by greater of dissolved forms. **Originality.** The concentrations of ten heavy metals were obtained for Ukrainian part of the Danube. **Practical value.** The results are a base for future investigation of anthropogenic contamination the Danube by heavy metals problem resolve. *References 4, tables 2, figures 1.*

Key words: Heavy metals, total amount, dissolved forms, the Danube.

REFERENCES

1. World Wide Fund for Nature (2002) A vision for the Danube Delta, Vienna / Odessa .
2. Hrytsenko A. V. and Vasenko A. G. (2015) Gritsenko A. V., Vasenko A. G. The role of ecological monitoring in solving of the problems of the danube and adjacent areas development, Problems of environmental protection and ecological safety, Vol. 37, pp. 3-18.
3. ICPDR (2008) Water Quality in the Danube River Basin - 2006. TNMN - Yearbook 2006, Vienna, Austria.
4. Klebanov D.O. and Osadcha N.M.(2012) Estimation of heavy metals discharge in Danube river in the modern period, Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute, no. 263, pp. 131–151
5. Moore J.V. and Ramamurti S.(1987) Heavy metals in natural waters: Control and impact assessment: Translated by , Mir,Moscow, Russia,
6. Linnik P.N. and Nabivanets B.I. (1986), Formy migratsii metallov v presnykh poverkhnostnykh vodakh [Metals migration forms in fresh surface waters], Hydrometeoizdat, Leningrad, USSR.
7. Harchenko T.A. et. al.(1993) Hydroekolohyya ukraynskoho uchastka Dunaya y sopredel'nykh vodoemov[Hydroecology of the Ukrainian section of the Danube and adjoining reservoirs], Naukova Dumka, Kiev, Ukraine.
8. Chief of the Ministry of Fisheries of the USSR (1993), Obobshchenny perechen' predel'no-dopustimyykh kontsentratsiy i oriyentirovochno bezopasnykh urovney vozdeystviya vrednykh veshchestv dlya vody rybokhozyaystvennykh vodoyemov [A generalized list of maximum permissible concentrations and approximately safe levels of exposure to harmful substances for the water of fishery water bodies], Moscow, USSR.
9. Min. healthy. of the USSR (1998) Sanitarnyye pravila i normy okhrany poverkhnostnykh vod ot zagryazneniya:SanPiN 4630-88 [Sanitary rules and norms for protection of surface water from pollution], Moscow, USSR.
10. USRIEP(2016), Zvedenny zaklyuchnyy zvit pro naukovu robotu «Kompleksnyy ekolohichnyy monitorynh dovkillya pid chas ekspluatatsiyi hlybokovodnoho sudnovoho khodu r. Dunay-Chorne more u 2016-2017 rokakh. Rayon Morskoho pidkhidnoho kanalu» [The consolidated final report on the scientific work "Integrated Environmental Monitoring of the Environment during the Operation of the Danube-Black Sea Deep Water Route in 2016-2017. Marine Channel Channel Area »], Kharkiv, Ukraine.
11. Solovov A. P., Arkhipov A. Ya., Bugrov V. A. et. al. (1990), Spravochnik po geokhimicheskim poiskam poleznykh iskopayemykh [Handbook of geochemical prospecting of mineral resources], Nedra, Moscow, USSR.
12. Vignati D. A.L. et al.(2013) Trace element contamination in the arms of the Danube Delta (Romania/Ukraine): Current state of knowledge and future needs, Journal of Environmental Management, vol. 125, pp. 169-178.