

## ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ОБ'ЄКТАХ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ м. МОЛОЧАНСЬК)

І.В. Кураєва<sup>1</sup>, Ю.Ю. Войтюк<sup>1</sup>, А.І. Самчук<sup>1</sup>, А.Л. Ларіков<sup>1</sup>, С.П. Кармазиненко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> — Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України  
03680, просп. акад. Палладіна, 34, м. Київ, Україна

E-mail: [voitiuk\\_yulia@ukr.net](mailto:voitiuk_yulia@ukr.net)

<sup>2</sup> — Інститут географії НАН України

01030, вул. Володимирська, 44, м. Київ, Україна

E-mail: [karmazinenko78@gmail.com](mailto:karmazinenko78@gmail.com)

Викладено результати еколого-геохімічних досліджень об'єктів навколишнього середовища (грунти, рослини, природні води) м. Молочанськ. Вивчено закономірності розподілу хімічних елементів у біосферних системах. Дана еколого-геохімічна оцінка урбанізованих територій міста з використанням *ICP-MS* аналізатора *ELEMENT-2* (Німеччина), методики визначення форм знаходження важких металів і біогеохімічних досліджень.

*Ключові слова:* сумарний показник забруднення, форми знаходження важких металів, коефіцієнт біологічного поглинання.

**Вступ.** Територія Східної України характеризується сильним техногенним навантаженням. У великих містах східної частини України розташовані підприємства металургійної, хімічної промисловості, а рівень забруднення об'єктів навколишнього середовища перевищує фонові значення в десятки і сотні разів. Ці території досить детально вивчені з екологічних і геохімічних позицій [3]. Еколого-геохімічному вивченню малих міст приділяється менше уваги.

Молочанськ (0,854 тис. га) — місто районного значення у Запорізькій області, розташоване у південній частині Токмацького району на березі річки Молочна, поблизу місця впадання річок Токмак і Чингул у неї.

На території міста були розміщені і працювали цілий ряд підприємств харчової промисловості (ВАТ «Молочанський молочноконсервний комбінат», Молочанський завод з виробництва напоїв, ТОВ «Вілтек», ТОВ «Акватоп», Молочанський завод з виробництва мінеральної води «Молочанська»), деревообробної («Молочанський меблевий комбінат») і будівельної (ТОВ «Санпласт», ТОВ «Полібудінвест»), а також підприємства, що займались садівництвом (ВАТ «Молочанський плодородсадник») і тваринництвом (Молочанськплемпідприємство). Нині у місті працюють ЗАТ «Плодо-

розсадник Молочанський», ТОВ «АРТ ПРОМ», ТОВ «Вілтек», ТОВ «Альянс Ойл Україна» [9].

**Метою** нашого дослідження була оцінка екологічного стану об'єктів навколишнього середовища м. Молочанськ (Україна). Завдання дослідження — встановити закономірності розподілу важких металів у ґрунтах та форми їх знаходження, особливості міграції з ґрунту в рослини, еколого-геохімічні характеристики природних вод.

**Об'єкти і методи досліджень.** Досліджено об'єкти навколишнього середовища м. Молочанськ. Польові дослідження передбачали відбір проб ґрунтів, рослинності м. Молочанськ, природних вод р. Молочна та вод централізованого водопостачання. Фонова ділянка з подібними ландшафтно-геохімічними умовами знаходилась на відстані 20 км від міста. Відбір проб проведено відповідно до вимог ДЕСТ 17.4.4.02-84. Для визначення концентрацій хімічних елементів у пробах ґрунтів, рослин, води використаний *ICP-MS* аналізатор *ELEMENT-2* (Німеччина), а також виконано загальний хімічний аналіз у лабораторіях Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України.

Карти розподілу важких металів у ґрунтах побудовані з використанням сучасних ГІС-технологій у програмі *QGIS 2.14.5 Essen* [8] на основі джерела <https://www.openstreetmap.org>. Еколого-геохімічні карти побудовані із застосуванням ГІС *SAGA* [6] і програми статистичної обробки даних *R* [7].

Інтерполяцію розподілу важких металів і сумарного показника забруднення виконано з застосуванням методу зважених зворотних відстаней (*IDW*).

Для характеристики забруднення об'єктів навколишнього середовища використано коефіцієнт концентрації (*Kc*) і сумарний показник забруднення (*Z<sub>c</sub>*) [4]:

$$Z_c = \sum_1^n Kc - (n-1), \text{ а } Kc = \frac{Ci}{C\phi},$$

де *Ci* – вміст хімічного елемента в ґрунті, *Cφ* – фонове значення хімічного елемента, *n* – число хімічних елементів. У даній роботі *Z<sub>c</sub>* визначені за такими елементами: Mn, Ni, Co, V, Cr, Mo, Cu, Pb, Zn, Sn.

Форми знаходження хімічних елементів визначали методом послідовних екстракцій за методикою А.І. Самчука [2].

Коефіцієнт біологічного поглинання (КБП) елемента розрахований за формулою [1]:

$$\text{КБП} = \frac{Lx}{Nx},$$

де *Lx* – вміст елемента в золі рослин, *Nx* – вміст елемента у ґрунті.

Для групування важких металів у рядах за інтенсивністю біологічного поглинання використано п'ять градацій [1]: елементи біологічного накопичення (КБП > 1): I група, (КБП 10*n* і більше): елементи енергійного накопичення; II група (КБП *n*–10*n*): елементи сильного накопичення, елементи біологічного захоплення (КБП < 1): III група (КБП 0,*n*): елементи слабого накопичення і середнього захоплення; IV група (КБП 0,0*n*): елементи слабого захоплення; V група (КБП 0,00*n* і менше): елементи дуже слабого захоплення.

Для кількісного вираження загальної здатності виду рослин до концентрації важких металів І.А. Авессаломова запропонувала спеціальний показник – біогеохімічна активність виду (БХА) [1], який дорівнює сумі КБП визначених важких металів: БХА = ΣКБП.

**Результати та їх обговорення.** У фізико-географічному відношенні на території м. Молочанськ серед ландшафтів домінують степові: піщані тераси низовин із потужним антропогеновим покривом на неогенових і палеогенових відкладах з дерновими ґрунтами в поєднанні з луговими солонцюватими, з острівними борами і суборами. Біля річки Молочна поширені плавні і лучно-степові солонцювато-солончакові ландшафти заплави. У ґрунтового покриві переважають чорноземи південні малогумусні і слабогумусні на лесових породах. У заплаві р. Молочна поширені важкосуглинисті лучно-чорноземні глибоко солонцюваті переважно на лесових породах і лугові солонцюваті на делювіальних і алювіальних відкладеннях ґрунту. Переважає степова (типчакково-ковилкові степи і агрофітоценози на їх місці) і лугова (луки заплави в комплексі з солончаками і солонцями) рослинність [5].

Досліджені урбоземи міста характеризуються такими фізико-хімічними показниками: рН 7,2, гумус – 4,2 %, сума поглинутих катіонів – 36,5 мг-екв на 100 гр ґрунту, вміст глинистої фракції – 32,2 %. На основі даних стосовно валового вмісту важких металів у ґрунтах міста і фонових значень (рис. 1) розраховано коефіцієнти концентрації та визначено геохімічну асоціацію:  $Pb_{3,9} > Cu_{3,2} > Ni_{2,2} > Sn_{1,7} > Co_{1,3}$ .

Виконано дослідження просторового розподілу важких металів, що входять у визначену геохі-

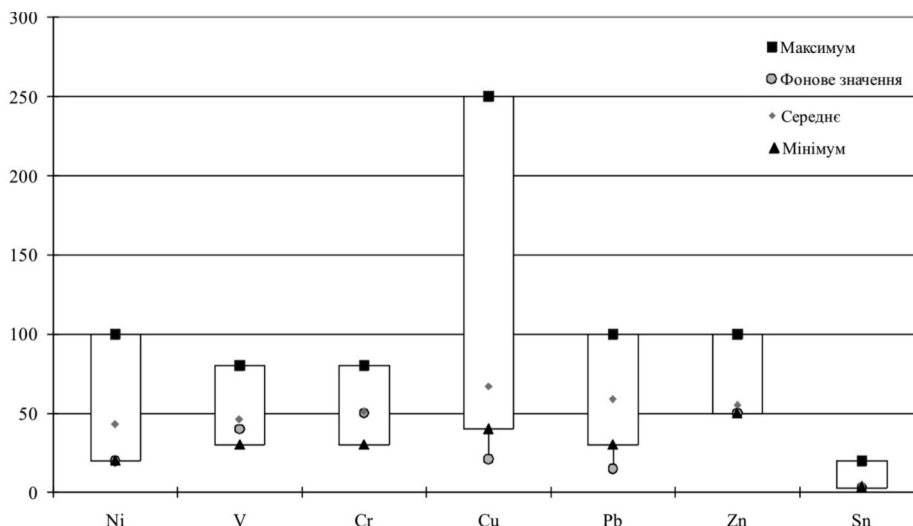


Рис. 1. Вміст хімічних елементів у ґрунтового покриві (горизонт 0–5 см) м. Молочанськ, мг/кг

Fig. 1. Content of chemical elements in the soil (horizon 0–5 cm) in the city of Molochansk, mg/kg

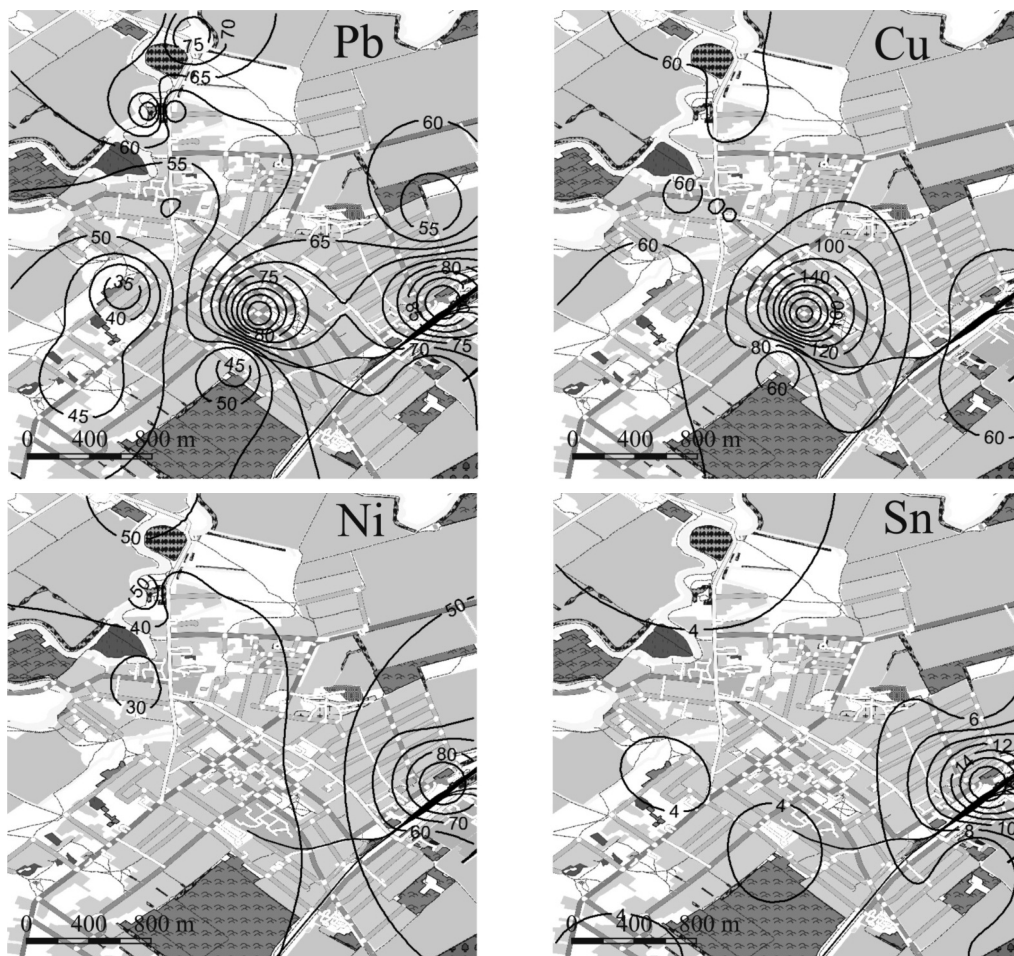


Рис. 2. Розподіл Pb, Cu, Ni, Sn у ґрунтовому покриві (горизонт 0–5 см.) м. Молочанськ, мг/кг

Fig. 2. Distribution of Pb, Cu, Ni, Sn in the soil (horizon 0–5 cm), Molochansk, mg/kg

Таблиця 1. Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах м. Молочанськ, мг/кг

Table 1. Content of moving forms of heavy metals in soils of the city of Molochansk, mg/kg

Ділянка опробування (кількість проб)	Хімічні елементи				
	Pb	Ni	Cu	Zn	Cr
Територія м. Молочанськ (n = 120)	5,5	4,2	9,8	7,2	4,2
Фонові ділянка (n = 38)	2,2	3,0	4,9	6,1	3,2

мічну асоціацію. Наприклад, максимальне значення свинцю становить 100 мг/кг і перевищує фонове у сім разів. Техногенні аномалії свинцю розташовані у південній частині залізничного вокзалу, біля автодоріг міста та меблевого комбінату. Вміст міді у ґрунтах міста досягає 250 мг/кг у зоні впливу меблевого комбінату та 100 мг/кг у зоні впливу заводу «Прогрес» за фонових значення 21 мг/кг. Максимальний вміст нікелю – 100 мг/кг (вищий від фонових у п'ять разів) зафіксовано поблизу за-

Таблиця 2. Вміст хімічних елементів у золі рослин Споріш звичайний (*Polygonum aviculare*), мг/кг

Table 2. The content of chemical elements in the ashes of plants *Polygonum aviculare*, mg/kg

Елемент	Вміст			КБП
	Мінімальний	Максимальний	Середній	
Mn	150,0	600,0	315,0	0,6
Ni	2,0	20,0	6,0	0,2
Co	1,0	3,0	2,0	0,3
V	3,0	5,0	4,0	0,1
Cr	3,0	8,0	4,0	0,1
Mo	1,0	2,0	1,0	0,8
Cu	20,0	300,0	53,0	1,1
Pb	1,0	30,0	5,0	0,1
Zn	10,0	30,0	12,0	0,2
Sn	1,0	3,0	1,0	0,3

лізничного вокзалу. Підвищений вміст стануму виявлено також біля залізничного вокзалу (20 мг/кг, за фонових 3 мг/кг) (рис. 2).

Таблиця 3. Результати хімічного аналізу води р. Молочна та питної води з систем централізованого водопостачання, мг/л  
 Table 3. Results of chemical analysis of water of the river Molochna and drinking water from centralized water supply systems, mg/l

Елементи	Річка Молочна у межах м. Молочанськ	Фонове значення для р. Молочна	Питна вода з систем централізованого водопостачання	ГДК для питних вод
Na	622,39	450,01	118,70	–
K	5,82	–	5,98	–
Mg <sup>2+</sup>	152,12	102,50	17,34	10–80
Ca <sup>2+</sup>	330,75	163,25	68,40	–
Fe <sub>заг</sub>	0,35	0,11	0,41	0,30
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	335,50	240,00	256,20	–
Cl	503,44	360,28	136,36	350,00
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1712,52	450,89	98,88	500,00
NO <sub>3</sub>	6,20	1,06	6,20	45,00
Mn	0,46	0,00	0,03	0,10
Ni	0,03	–	0,00	0,02–0,1
Ti	0,04	–	0,03	0,10
V	0,01	–	0,00	0,10
Cr	0,09	0,00	0,01	0,01–0,05
Mo		–	0,00	0,25
Zr	0,11	–	0,01	0,01
Nb		–	–	0,01
Cu	0,16	0,00	0,02	0,01–1
Ba	0,30	–	0,03	0,10
Zn		–	0,45	–
Сухий залишок	3510,00	1784,00	590,00	–

Примітка: ГДК – гранично допустима концентрація, прочерк – дані відсутні  
 Notes. ГДК - maximum permissible concentration, dash – no data.

Сумарний показник забруднення ґрунтів становить 3–21, середнє значення – 8. Таким чином, рівень забруднення територій під впливом промислових підприємств не перевищує середнього (помірно небезпечного). Найбільші значення сумарного показника забруднення ґрунтів характерні для південної частини залізничного вокзалу ( $Z_C$  21); території меблевого комбінату ( $Z_C$  19); південної частини гренажного заводу, який нині не працює ( $Z_C$  11); території заводу «Прогрес», також нині не працює ( $Z_C$  6–9), південної частини елеватора (не працює), ( $Z_C$  8) і молочно-консервного комбінату ( $Z_C$  4–7).

Особливе значення для дослідження еколого-геохімічного стану ґрунтових відкладів має вивчення форм знаходження важких металів [3]. Нами встановлено, що вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах м. Молочанськ підвищується в порівнянні з фоновими ділянками, що є критерієм техногенного забруднення ґрунтів. Рухомими форма-

ми ми вважаємо водорозчинну та іонообмінну. Рухливість Pb в техногенно забруднених ґрунтах міста збільшується в 2,5 разів, Cu – 2, Ni – 1,4, Cr – 1,3, Zn – 1,2 порівняно з фоновими ділянками (табл. 1).

Для виконання біогеохімічних досліджень був обраний Споріш звичайний (Гірчак звичайний, *Polygonum aviculare*) – однорічна трав'яниста рослина зі стрижневим розгалуженим коренем, поширена по всій території України.

За отриманими результатами на досліджуваній території з усіх хімічних елементів тільки Cu є елементом сильного накопичення (КБП = 1,1), інші є елементами біологічного захоплення (табл. 2). БХА становить 3,8. Порівнюючи отримані результати з результатами нашого дослідження території м. Маріуполь [2] можна зробити висновок, що Споріш має таку ж здатність до накопичення важких металів, як і пирій повзучий (*Elytrigia répens*).

Дослідження води р. Молочна засвідчили, що вона сульфатно-кальцієвого типу з підвищеним вмістом макро- і мікрокомпонентів. Води для централізованого водопостачання надходять з палеоген-неогенових відкладів і характеризуються гідрокарбонатно-натрієвим складом із незначним перевищенням вмісту Fe, що може бути пов'язано зі зношуванням технологічного обладнання подачі води (табл. 3).

**Висновки.** Територія м. Молочанськ має рівень забруднення нижче від середнього ( $Z_C$  до 16) і тільки в районах розташування промислових підприємств і залізничного вокзалу він зростає (максимальне значення  $Z_C$  21). У досліджених ґрунтах

підвищується вміст рухомих форм у порівнянні з фоновими ґрунтами. Рухливість Pb у техногенно забруднених ґрунтах міста збільшується у 2,5, Cu – 2, Ni – 1,4 рази. Вивчення трав'янистих рослин (на прикладі Спориху звичайного (*Polygonum aviculare*)) показало, що найбільший КБП характерний для Cu.

В екологічному аспекті стан поверхневих вод р. Молочна викликає особливе занепокоєння, тому що їхній хімічний склад характеризується підвищеним вмістом макро- і мікроелементів у порівнянні з фоновими значеннями. Вміст хімічних елементів, за винятком Fe, у водах централізованого побутового постачання не перевищує ГДК.

### Література

1. Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов. Учебно-методическое пособие. М., 1987. 108 с.
2. Кармазиненко С.П., Кураєва І.В., Самчук А.І., Войтюк Ю.Ю., Манічев В.Й. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти). Київ, 2014. 168 с.
3. Жовинский Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. Київ, 2002. 213 с.
4. Саєт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М., 1990. 335 с.
5. Національний атлас України / гол. редактор Л.Г. Руденко. Київ, 2007. 440 с.
6. Свідзінська Д.В. Методи геоecологічних досліджень: геoinформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA: навчальний посібник. Київ, 2014. 402 с.
7. Bivand R.S., Pebesma E.J., Gyzmez-Rubio V. Applied Spatial Data Analysis with R. New York, 2008. 374 p.
8. Bruy A., Svidzinska D. QGIS By Example. Birmingham, 2015. 296 p.
9. Молочанська міська рада. Оглядові матеріали. Офіційний сайт Токмацької районної ради Запорізької області. URL: [http://radatokmak.gov.ua/molochanska\\_miska\\_rada/](http://radatokmak.gov.ua/molochanska_miska_rada/)

### References

1. Avessalomova, Y.A. (1987) Geohymicheskiye pokazately pry yzuchenyy landshaftov. Uchebno-metodycheskoe posobyе. Moscow, Yzd-vo MGU. 108 p. [in Russian].
2. Karmazynenko, S.P., Kurajeva, I.V., Samchuk, A.I., Vojtyuk, Ju.Ju., & Manichev, V.J. (2014). Vazhki metaly u komponentah navkolyshn'ogo seredovyshha m. Mariupol' (ekologo-geohimichni aspekty). Kyiv, Interservis. 168 p. [in Ukrainian].
3. Zhovinskij, Je.Ja., & Kuraeva, I.V. (2002). Geohimija tjazhelyh metallov v pochvah Ukrainy. Kyiv, Naukova dumka [in Russian].
4. Saet, Ju.E., Revich, B.A., & Janin, E.P. (1990). Geohimija okružhajushhej sredy. Moscow, Nedra. 335 p. [in Russian].
5. Nacional'nyj atlas Ukrai'ny (2007) / gol. redaktor L. G. Rudenko; Instytut geografii' NAN Ukrai'ny [ta in.]. Kyiv, DNVP Kartografija. 440 p. [in Ukrainian].
6. Svidzins'ka, D.V. (2014) Metody geoecologichnyh doslidzhen': geoinformacijnyj praktykum na osnovi vidkrytoi' GIS SAGA: navchal'nyj posibnyk. Kyiv, Logos. 402 p. [in Ukrainian].
7. Bivand, R.S., Pebesma, E.J., & Gyzmez-Rubio, V. (2008) Applied Spatial Data Analysis with R. NY, Springer. 374 p.
8. Bruy, A., & Svidzinska, D. (2015) QGIS By Example. Birmingham, Packt Publishing. 296 p.
9. Review materials. Official site of the Tokmak District Council of Zaporizhzhya Oblast. URL: [http://radatokmak.gov.ua/molochanska\\_miska\\_rada/](http://radatokmak.gov.ua/molochanska_miska_rada/)

Кураєва І.В.<sup>1</sup>, Войтюк Ю.Ю.<sup>1</sup>, Самчук А.І.<sup>1</sup>, Ларіков А.Л.<sup>1</sup>, Кармазиненко С.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> — Інститут геохімії, мінералогії і рудообрання ім. Н.П. Семененко НАН України

03680, пр. Палладина, 34, Київ, Україна

<sup>2</sup> — Інститут географії НАН України

01030, ул. Владимирская, 44, Київ, Україна

**Закономерности распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды урбанизированных территорий Украины (на примере г. Молочанск)**

Представлены результаты эколого-геохимических исследований объектов окружающей среды (почвы, растения, природные воды) г. Молочанск. Изучены закономерности распределения химических элементов в биокосных системах. Дана эколого-геохимическая оценка урбанизированных территорий города с использованием ICP-MS анализатора ELEMENT-2 (Германия), методики определения форм нахождения тяжелых металлов и биогеохимических исследований.

*Ключевые слова:* суммарный показатель загрязнения, формы нахождения тяжелых металлов, коэффициент биологического поглощения.

**Kuraeva I. <sup>1</sup>, Voitiuk Yu. <sup>1</sup>, Samchuk A. <sup>1</sup>, Larikov A. <sup>1</sup>, Karmazynenko S. <sup>2</sup>**

*1 - M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine 03680, 34 Palladin ave., Kyiv, Ukraine*

*voitiuk\_yulia@ukr.net*

*2 - Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine*

*01030, st. Vladimirska, 44, Kyiv, Ukraine*

*karmazinenko@mail.ru*

**Regularities of distribution of heavy metals in the objects of the environment of urbanized territories of Ukraine (for example, the city of Molochansk)**

The results of environmental and geochemical studies of objects of the environment (soils, plants, water) in the city of Molochansk are presented in the work. Regularities of distribution of chemical elements in environmental objects have been studied. Ecological-geochemical evaluation of urban areas of the city using the ICP-MS analyzer ELEMENT-2 (Germany), a method for determining the forms of finding heavy metals and biogeochemical studies was made. The territory of the city of Molochansk has a level of pollution below the average. In the areas of the location of industrial enterprises and the railway station, it rises (maximum value  $Z_s - 21$ ). The calculated coefficients of the concentration of heavy metals in soils and the geochemical association were determined:  $Pb_{3.9} > Cu_{3.2} > Ni_{2.2} > Sn_{1.7} > Co_{1.3}$ . The content of moving forms of heavy metals in the soils of the city of Molochansk rises in comparison with the background soils. Mobility of Pb in technogenically polluted soils of the city increases by 2.5 times, Cu by 2 times, Ni by 1.4 times. The study of herbaceous plants (for example, *Polygonum aviculare*) showed that the highest bioavailability coefficient has Cu. In the ecological aspect, the state of surface waters of the Molochna River is anxiety. The chemical composition of the river Molochna is characterized by high content of macro- and trace elements. Waters of centralized water supply on the content of chemical elements do not exceed the maximum permissible concentrations with the exception of Fe.

*Keywords:* total pollution index, forms of finding heavy metals, coefficient of biological absorption.

Надійшла 15.09.2017.