

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВМІСТУ Hg У СИСТЕМІ «ГРУНТ-РОСЛИНА» ЕКОСИСТЕМ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ГОЛОСІЇВСЬКИЙ»

Риженко Н.О.¹, Риженко Д.І.¹, Ястребцова Н.І.²

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ

²Київський природничо-науковий ліцей № 145
вул. Шота Руставелі, 46, 01033, м. Київ
alsko2011@ukr.net

Вивчення закономірностей транслокації та біоаккумуляції токсичних металів дає змогу ефективніше розв'язувати проблемні наслідки забруднення навколишнього середовища, що набуває особливої актуальності, зокрема, для екосистем рекреаційних ландшафтів природоохоронних територій, що є важливими центрами природних екосистем і виконують необхідні рекреаційні й оздоровчі функції для мешканців мегаполісів. Сьогодні кількість антропогенних джерел, зокрема викиди промисловості, робота транспорту й електростанцій, відходи тощо, істотно впливає на збільшення вмісту поллютантів у довкіллі. Чільне місце серед токсичних металів посідає ртуть, сполуки якого належать до першого класу небезпечності та є токсичними для біоти й високо біодоступними. У результаті досліджень системи «грунт-рослина» НПП «Голосіївський», що проводилися у 2020 році, перевищення в ґрунті (0–20 см) ГДК валової форми ртуті на досліджуваній території не виявлено. Найвищу концентрацію металу мали зразки донних відкладів і ґрунту нижніх частин схилів, що свідчить про здатність до низхідної вертикальної міграції Hg у ландшафті. Найбільший уміст ртуті в загальній фітомасі мала кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), а найменший – півники болотні (*Iris pseudacorus* L.). Оскільки лікарські рослини мають широке використання, необхідні гранично допустимі нормативи вмісту ртуті у фітомасі. Визначено рівень інтенсивності біоаккумуляції за вмістом Hg у загальній фітомасі таких рослин: Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.) > Подорожник середній (*Plantago media* L.) > Розривтрава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC) = Лопух великий (*Arctium lappa* L.) = Злинка однорічна (*Erigeron annuus* L.) > Деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.) > Півники болотні (*Iris pseudacorus* L.). Рекомендовано використовувати Кропиву дводомну (*Urtica dioica* L.) як біоіндикаторний вид з метою фітореMediaції забруднених ґрунтів. *Ключові слова:* рослина, ґрунт, природний парк, екосистема, ландшафт.

Environmental assessment of Hg in the “soil-plant” system of recreational landscape ecosystems in the “Golosiivsky National Nature Park”. Ryzhenko N., Ryzhenko D., Yastrebtsova N.

Assessment of toxic metals in the soil-plant system as well as patterns of translocation and bioaccumulation solves the applied problem of pollution, which is especially relevant for ecosystems of recreational landscapes of protected areas. Such areas are important centers of natural ecosystems and perform the necessary recreational and health functions, which is extremely important for the inhabitants of megacities. Natural amounts of metals are present in relatively low concentrations, but recently the number of anthropogenic sources, in particular, industrial emissions, transport and power plants, waste, etc. has a significant impact on increasing the content of pollutants in the environment. Exceedance in the soil (0–20 cm) of the MPC of the of mercury in the study area was not detected. The highest absolute value of mercury concentration was characterized by samples of bottom sediments and soil of the lower parts of the slopes, which indicates the ability to descendant vertical migration of Hg in the landscape. The highest content of mercury in the total phytomass had *Urtica dioica* L., and the lowest-*Iris pseudacorus* L. Since herbal are widely used, it is advisable for them to develop maximum permissible standards for the content of mercury in the phytomass. According to the index of Hg bioaccumulation, plants can be ranked in the following descending order: *Urtica dioica* L. > *Plantago media* L. > *Impatiens parviflora* DC = *Arctium lappa* L. = *Erigeron annuus* L. > *Achillea millefolium* L. > *Iris pseudacorus* L. *Urtica dioica* L. should be recommended as a bioindicator species for the purpose of phytoremediation in contaminated soils. *Key words:* plant, soil, nature park, ecosystem, landscape.

Постановка проблеми. Токсичні метали є забрудниками навколишнього природного середовища через свою токсичність, стійкість у компонентах екосистем і біоаккумулятивні властивості [1–3]. Чільне місце серед вищезазначених поллютантів посідає ртуть, сполуки якого належать до першого класу небезпечності та є токсичними для біоти, зокрема метилртутью [4; 5]. Екологічна оцінка вмісту ртуті в системі «грунт-рослина», у тому числі й в екосистемах зелених паркових зон мегаполісів, має системний характер, дає змогу визначити його вплив на здоров'я населення, видову чутливість

рослин щодо біодоступності ртуті, прогнозувати наслідки забруднення та використовувати певні види для фітореMediaції.

Визначення рівня вмісту токсичних металів у системі «грунт-рослина» з метою встановлення закономірностей транслокації та біоаккумуляції розв'язує прикладну проблему наслідків забруднення, зокрема, для екосистем рекреаційних ландшафтів природоохоронних територій, що є важливими центрами природних екосистем і виконують необхідні рекреаційні й оздоровчі функції для мешканців мегаполісів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Низка сучасних досліджень присвячена проблемі забруднення токсичними металами у ґрунтах міст, зокрема в зелених паркових зонах [7–9]. У низці робіт зазначено, що в ґрунтах зелених паркових зон рівні металів перевищують їх фонові значення [10–13]. Антропогенні джерела, зокрема викиди промисловості, робота транспорту й електростанцій, відходи тощо, істотно впливають на рівень умісту поллютантів у довкіллі. Метали можуть прямо чи опосередковано впливати на здоров'я людей і функціонування біоти. Меркурій надзвичайно токсичний. За даними Державного агентства США за реєстром токсичних речовин і захворювань, Hg посідає третє місце серед найбільш токсичних елементів або речовин на планеті, включаючи миш'як і свинець. У результаті діяльності людини кількість меркурію в атмосфері майже потроїлася, з кожним роком збільшуючись на 1,5 відсотка [17]. Меркурій не входить до числа 15 есенціальних мікроелементів, але знаходиться в усіх живих організмах [5]. Механізм, за допомогою якого меркурій надходить до харчового ланцюга, залишається певною мірою невідомим і, ймовірно, варіює залежно від екосистеми. Hg у навколишньому середовищі може існувати в елементарній формі, у вигляді

неорганічної або органічної ртуті. Визначено, що період напіврозпаду Hg у головному мозку людини може досягати 20 років [18]. Незважаючи на те що сполуки меркурію належать до першого класу небезпечності, уміст металу в системі «ґрунт-рослина» зелених зон практично не досліджено.

Новизна. Уперше досліджено вміст меркурію в надземній фітомасі таких рослин, як Кривавик дводомна (*Urtica dioica* L.), Розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC), Лопух великий (*Arctium lappa* L.), Подорожник середній (*Plantago media* L.), Півники болотні (*Iris pseudacorus* L.), Деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.), Злинка однорічна (*Erigeron annuus* L.), у рекреаційних ландшафтах Дидорівської та Горіхуватської балкових систем НПП «Голосіївський». Зазначено, що перевищення в ґрунті (0–20 см) ГДК меркурію на досліджуваній території не виявлено. Установлено, що найбільший коефіцієнт біоаккумуляції Hg серед досліджуваних рослин у Кривави дводомної (*Urtica dioica* L.).

Виклад основного матеріалу. Проби ґрунту й рослин відбирали в серпні 2020 року на території Національного природного парку (НПП) «Голосіївський»: Дидорівська та Горіхуватська балкові системи (рис. 1).

Аналіз вмісту Hg у зразках ґрунту й рослин здійснювався в Санітарно-гігієнічній лабораторії відділу дослідження фізичних і хімічних факторів Міністерства охорони здоров'я України (Державна установа «Київський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України») у 2020 році.

Коефіцієнт біоаккумуляції (КБ) у системі «ґрунт-рослина» розраховували так [1–3]:

$$КБ = \frac{C_p}{C_g}, \quad (1)$$

де C_p – концентрація металу в рослині, мг/кг сухої речовини; C_g – концентрація металу в ґрунті, мг/кг.

Статистичний аналіз даних проводився відповідно до прийнятих методик. Зразки ґрунту (0–20 см) відбирали за ДСТУ 4287:2004 [19]. Як тест-об'єкти використовувалися такі види рослин: Розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC), деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.), Подорожник середній (*Plantago media*, L) Кривавик дводомна (*Urtica dioica* L.), Півники болотні (*Iris pseudacorus* L.), Лопух великий (*Arctium lappa* L.), Злинка однорічна (*Erigeron annuus* L.) (таблиця 1).

Визначення Hg у зразках ґрунту та рослин здійснювався за «Методикою виконання вимірювань масової частки ртуті в пробах харчових продуктів, МВВ № 081/12-0996-15 продовольчої сировини, кормів, комбікормів і сировини для їх виробництва атомно-абсорбційним методом з використанням аналізатора ртуті РА-915 + з приставкою ППРО 915 +». Виявлено, що валовий уміст меркурію на досліджуваних ділянках не перевищував показник ГДК

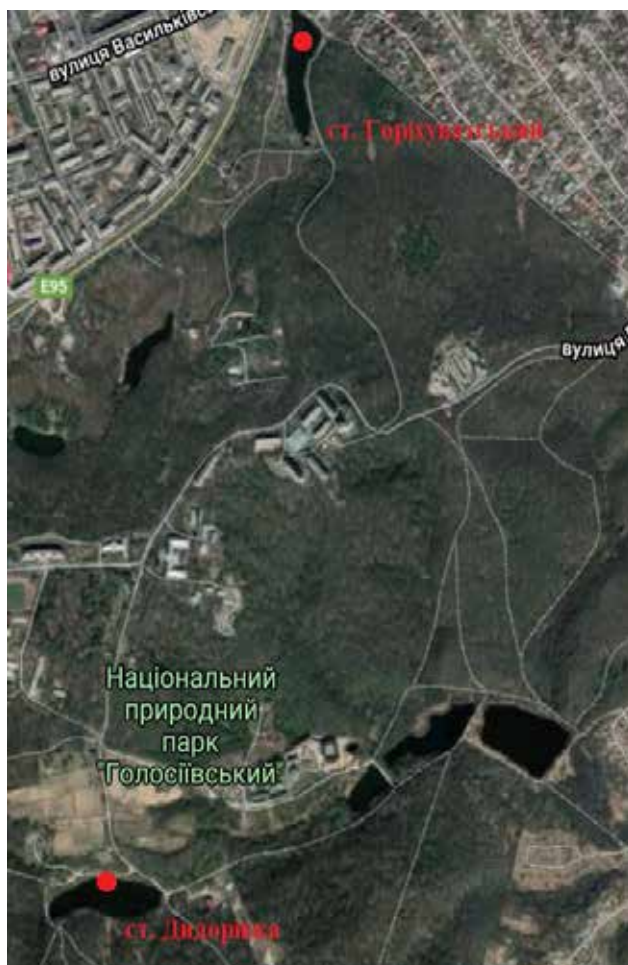


Рис. 1. Місця відбору проб у НПП «Голосіївський»

за нормами України, чинними стандартами Європи (таблиця 2).

Найвищі абсолютні значення концентрації меркурію мали зразки донних відкладів і ґрунту нижніх частин схилів, що свідчить про здатність до

низхідної вертикальної міграції Hg у ландшафті. Оскільки коефіцієнт варіації менші ніж 30%, то достовірної різниці між умістом Hg у ґрунті різних локацій рекреаційних ландшафтів НПП «Голосіївський» немає.

Таблиця 1

Перелік відібраних зразків у польових умовах

№ зразка	Назва об'єкта дослідження	Місце відбору проб
Південний схил Дидорівської балкової системи		
1	Донні відклади 0–20 см	Нижня частина
2	Ґрунт 0–20 см	Середня частина
3	Ґрунт 0–20 см	Верхня частина
4	Ґрунт 0–20 см	Нижня частина
8	Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)	Нижня частина
9	Розрив-трава дрібноквіткова (<i>Impatiens parviflora</i> DC)	Нижня частина
10	Лопух великий (<i>Arctium lappa</i> L.)	Середня частина
11	Подорожник середній (<i>Plantago media</i> L.)	Середня частина
12	Півники болотні (<i>Iris pseudacorus</i> L.)	Нижня частина
13	Деревій звичайний (<i>Achillea millefolium</i> L.)	Нижня частина
14	Злинка однорічна (<i>Erigeron annuus</i> L.)	Середня частина
Південний схил Горіхуватської балкової системи		
5	Ґрунт 0–20 см	Нижня частина
6	Ґрунт 0–20 см	Середня частина
7	Ґрунт 0–20 см	Верхня частина

Таблиця 2

Уміст Hg у ґрунті, 0–20 см

Місце дослідження	Уміст, мг/кг
Донні відкладення, Дидорівка	0,0069±0,000345
Середня частина схилу, Дидорівська балкова система	0,0063±0,000315
Верхня частина схилу, Дидорівська балкова система	0,0059±0,000295
Нижня частина схилу, Дидорівська балкова система	0,0067±0,000335
Нижня частина схилу, Горіхуватська балкова система	0,0059±0,000295
Середня частина схилу, Горіхуватська балкова система	0,0052±0,00026
Верхня частина схилу, Горіхуватська балкова система	0,005±0,00025
Коефіцієнт варіації(v), %	≈0
ГДК Європа [20]	2,5 (0,67)
ГДК Україна [21]	2,1

Таблиця 3

Вміст Hg у рослинах

Вид рослин	Уміст у загальній фітомасі, мг/кг сухої речовини
Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)	0,0028
Розрив-трава дрібноквіткова (<i>Impatiens parviflora</i> DC)	0,0027
Лопух великий (<i>Arctium lappa</i> L.)	0,0025
Подорожник середній (<i>Plantago media</i> L.)	0,0026
Півники болотні (<i>Iris pseudacorus</i> L.)	<0,001
Деревій звичайний (<i>Achillea millefolium</i> L.)	0,0026
Злинка однорічна (<i>Erigeron annuus</i> L.)	0,0025
ГДК [22]	0,02
Коефіцієнт варіації(v), %	≈0
Коефіцієнт осциляції (K _{Gr}), %	75,45

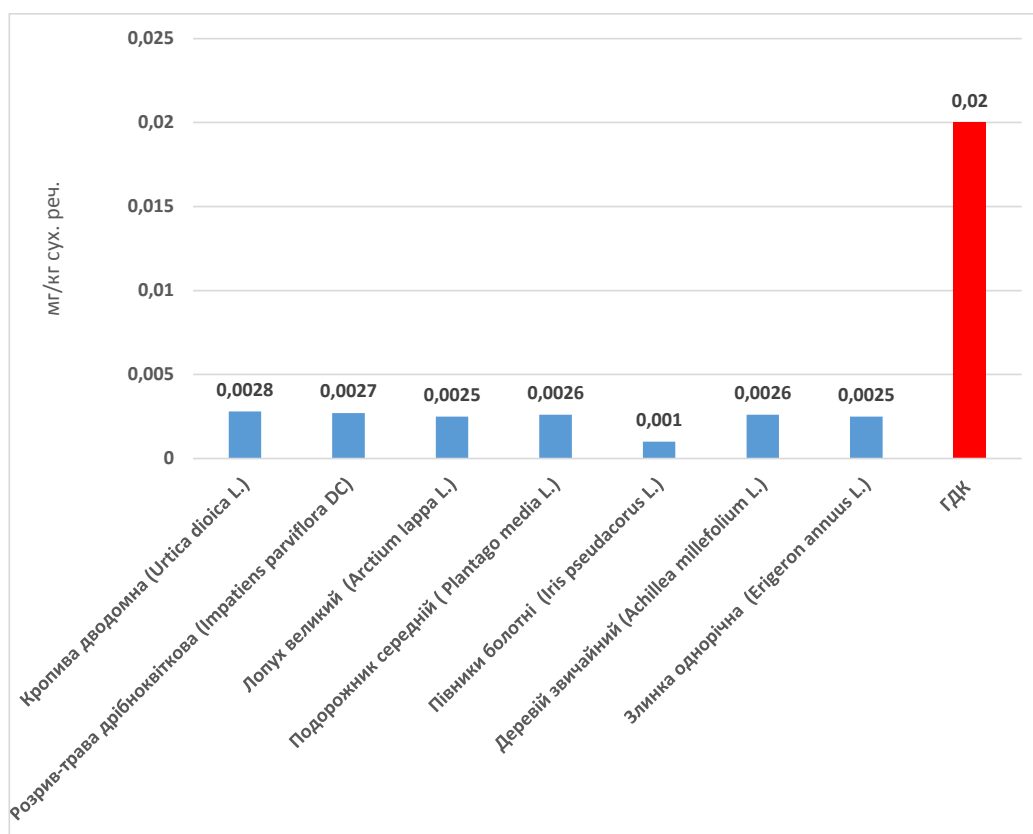


Рис. 2. Уміст Hg у фітомасі деяких видів рослин рекреаційних ландшафтів НПП «Голосіївський»

Найбільший уміст меркурію в загальній фітомасі мала кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), а найменший – півники болотні (*Iris pseudacorus* L.) (таблиця 3). Це пояснюється різною видовою чутливістю та неоднаковою біодоступністю до досліджуваного металу у рослин.

Визначено вміст металу у фітомасі таких рослин: Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.) > Розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC) > Подорожник середній (*Plantago media* L.) = Деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.) > Лопух великий (*Arctium lappa* L.) = Злинка однорічна (*Erigeron annuus* L.) > Півники болотні (*Iris pseudacorus* L.). Оскільки немає ГДК для лікарських (дикорослих рослин), орієнтиром значення 0,02 мг/

кг сухої речовини, яке встановлене як гігієнічний норматив для овочів, картоплі, фруктів, винограду та ягід. Уміст меркурію в досліджуваних рослинах не перевищував вищезазначений установлений показник (рис. 2).

Найбільший коефіцієнт біоаккумуляції (Кб) мала Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), найменший – півники болотні (*Iris pseudacorus* L.) (таблиця 4).

Оскільки коефіцієнт варіації більше ніж 30%, то варіація між коефіцієнтами біоаккумуляції є помірною. Це свідчить про різний ступінь біодоступності окремих видів рослин до меркурію, що пояснюється їх фізіологічними особливостями, тобто «бар'єрним-безбар'єрним» механізмом поглинання ультрамікроелементів у системі «грунт-рослина».

Таблиця 4

Коефіцієнти біоаккумуляції Hg у системі «грунт-рослина»

Вид рослин	Кб
Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)	0,42
Розрив-трава дрібноквіткова (<i>Impatiens parviflora</i> DC)	0,40
Лопух великий (<i>Arctium lappa</i> L.)	0,40
Подорожник середній (<i>Plantago media</i> L.)	0,41
Півники болотні (<i>Iris pseudacorus</i> L.)	0,01
Деревій звичайний (<i>Achillea millefolium</i> L.)	0,39
Злинка однорічна (<i>Erigeron annuus</i> L.)	0,40
Коефіцієнт варіації (v), %	39,73
Коефіцієнт осциляції (Kr), %	118,11

Головні висновки. Перевищення в ґрунті (0–20 см) ГДК валової форми меркурію на досліджуваній території не виявлено. Найбільший уміст меркурію в загальній фітомасі мала Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), а найменший – Півники болотні (*Iris pseudacorus* L.). Визначено рівень інтенсивності біоаккумуляції за вмістом Hg у фітомасі таких рослин: Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.) >

Подорожник середній (*Plantago media* L.) > Розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC) = Лопух великий (*Arctium lappa* L.) = Злинка однорічна (*Erigeron annuus* L.) > Деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.) > Півники болотні (*Iris pseudacorus* L.). Рекомендовано використовувати Кропиву дводомну (*Urtica dioica* L.) як біоіндикаторний вид з метою фітореMediaції забруднених ґрунтів.

Література

1. Alloway B.J. Heavy metals in soils. Trace elements and Metalloids in Soils and their Bioavailability / Springer, Third edition. UK : 2010. 235 p.
2. Basri H. A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation / Bieby Voijant Tangahu, Siti Rozaimah Sheikh Abdullah, Hassan Basri et al. *International Journal of Chemical Engineering*. 2011. Vol. 2011. 31 p.
3. Bradl H. Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation / Academic Press, Neubrucke, Germany, 2005. 282 p.
4. Зербино Д.Д. Болезни, вызываемые тяжелыми металлами. Ртутная болезнь. *Профилактика медицины. Экологическая патология: ртутная хвороба*. 2010. № 10 (76). 4 с. URL: <http://www.health-medix.com/articles/mistetzvo/2010-12-17/10DDZKPP.pdf>.
5. Трахтенберг І.М., Краснокутська Л.М., Лубянова І.П. Ртуть та її небезпека – проблема давня і нова. *Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки*. 2016. № 1. С. 13–23.
6. Sieghardt M., Mursch-Radlgruber E., Paoletti E., Couenberg E., Dimitrakopoulos A., Rego F., Hatzistathis A., Barfoed Randrup T., Urban Forests and Trees, Springer, Berlin, 2005, p. 281.
7. Marjanović, Mirjana & Vukcevic, Marija & Antonović, Dušan & Dimitrijevic-Brankovic, Suzana & Jovanović, Đorđe & Matavulj, Milan & Ristić, Mirjana. Heavy metals concentration in soils from parks and green areas in Belgrade. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 2009. № 74. P. 10.
8. Риженко Н.О. Принципи фітотоксикологічної класифікації металів та рослин в умовах природних екосистем. *Наукові доповіді НУБіП України* : електронне видання. 2017. № 5 (69). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/9479/8494>.
9. Kabata-Pendias A., Mukherjee Arun B. Trace Elements from Soil to Human. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2007. 550 p.
10. Li X.D., Poon C.S., Liu P.S. Appl. Geochem. 2001. № 16. P. 1361
11. Manta D. S., Angelone M., Bellanca A., Neri R., Sprovieri M., Sci. Total Environ. 2002. № 300. P. 229.
12. Madrid L., Diaz-Barrientos E., Madrid F., Chemosphere. 2002. № 49. P. 1301.
13. Lee S.L., Li X.D., Shi W.Z., Cheung C.N., Thornton I., Sci. Total Environ. 2006. № 356. P. 45.
14. Zhang C., Environ. Pollut. 2006. № 142. P. 501.
15. Romić M., Hengl T., Romić D., Husnjak S., Comput. Geosci. 2007. № 3. P. 1316.
16. Miao L., Xu R., Ma Y., Xu J., Wang J., Geochem. Explor. 2008. № 96. P. 43.
17. Rice K.M., Walker E.M., Jr, Wu, M., Gillette C., & Blough E.R. Environmental mercury and its toxic effects. *Journal of preventive medicine and public health = Yebang Uihakhoe chi*. 2014. № 47 (2). P. 74–83.
18. Toxicological profile for Mercury. U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999. 676 p.
19. Якість ґрунту. Відбирання проб : ДСТУ 4287:2004 (БЗ №11-2003/378). [Чинний від 2004-30-04] / Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського»; ТК 142 «Ґрунтознавство»; В. Соловей, М. Полупан. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 5 с. (Національний стандарт України).
20. Crommentuijn M.D. Polder, van de Plassche E.J Maximum permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals, taking background concentrations into account, Report No. 601501001, National Institute of public Health and ENVI BILTHOVEN, The Netherlands, 1997. 221 p.
21. Про затвердження методичних вказівок «Визначення вмісту ртуті в об'єктах виробничого, навколишнього середовища і біологічних матеріалах» : Наказ МОЗ України від 10 червня 2005 року № 263. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/view/MOZ4523?an=32>.
22. Державні гігієнічні правила і норми «Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах» : Наказ МОЗ України від 13.05.2013 № 368. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0774-13>.