

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕПАРТАМЕНТУ ОСВІТИ І НАУКИ
ВИКОНАВЧОГО ОРГАНУ КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ
(КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ)

КИЇВСЬКЕ ТЕРИТОРІАЛЬНЕ ВІДДІЛЕННЯ МАЛОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
(КИЇВСЬКА МАЛА АКАДЕМІЯ НАУК)

Відділення екології та аграрних наук
Секція: екологія

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВМІСТУ МЕРКУРІЮ
У РЕКРЕАЦІЙНИХ ЛАНДШАФТАХ
НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ГОЛОСІЇВСЬКИЙ»

Роботу виконав:

Риженко Дмитро Ігорович,

..... року народження

учень 11 класу

Київський природничо-науковий ліцей №

145 Печерського району м. Києва.

Контактні телефони:.....

Електронна адреса:.....

Науковий керівник:

ПІБ, посада, вчене звання, контактні

телефони.....

Педагогічний керівник:

ПІБ, посада, вчене звання, контактні

телефони.....

Комунальний позашкільний навчальний заклад
«Київська Мала академія наук учнівської молоді»

Анотація



Риженко Дмитро Ігорович, учень 11 класу Київського природничо-наукового ліцею № 145 м. Києва.

Науковий керівник: ПШБ, посада, вчене звання...

Екологічна оцінка вмісту ртуті у рекреаційних ландшафтах Національного природного парку «Голосіївський»

Виявлення вмісту ртуті у системі «грунт-рослина», а також закономірностей його транслокації та біоаккумуляції розв'язує прикладну проблему наслідків забруднення. Проведена оцінка забруднення ртуттю та іншими токсичними металами (Cd, Pb) системи «грунт-рослина» рекреаційних ландшафтів НПП «Голосіївський» для виявлення закономірностей біоаккумуляції та визначення пріоритетних напрямів контролю забруднення екосистем парку. У відібраних зразках ґрунту та рослин визначений вміст Hg методом атомно-абсорбційної спектрометрії, проведена порівняльна оцінка вмісту ртуті із результатами, отриманими стосовно Cd та Pb. Розраховано коефіцієнти біоаккумуляції Hg у системі «грунт-рослина» та проведено порівняльний аналіз інтенсивності біоаккумуляції Hg, Cd, Pb. Перевищення ГДК ртуті у ґрунті (0-20 см) на досліджуваній території не виявлено, на відміну від свинцю. Відтак доцільним є контролювати свинець у рекреаційних ландшафтах парку. Найбільшим вмістом ртуті у загальній фітомасі та коефіцієнтом біоаккумуляції характеризувалась кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), що дає можливість рекомендувати цей вид для фітореMediaції.

Ключові слова: токсичні метали, НПП «Голосіївський», забруднення, ґрунт, рослина.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. НЕБЕЗПЕЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕРКУРІЮ	5
1.1.Токсикологічні властивості	5
1.1.1. Токсиколого-гігієнічні нормативи.....	7
1.2. Особливості поведінки меркурію у навколишньому природному середовищі 10	
1.2.1 Джерела надходження меркурію у довкілля	12
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	16
2.1 Умови проведення дослідження.....	16
2.2. Методика проведення досліджень	18
2.2.1 Відбір проб ґрунту та рослин у польових дослідженнях	18
2.2.2. Визначення Hg атомно-абсорбційним методом	19
РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВМІСТУ Hg У СИСТЕМІ ҐРУНТ-РОСЛИНА РЕКРЕАЦІЙНИХ ЛАНДШАФТІВ НПП «ГОЛОСІЇВСЬКИЙ»	20
3.1 Оцінка вмісту Hg у ґрунті.....	20
3.2. Порівняльний аналіз вмісту Hg у фітомасі рослин	22
3.3 Біоаккумуляція Hg у системі «ґрунт-рослина»	25
ВИСНОВКИ	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	30

ВСТУП

Актуальність. Токсичні метали є відомими забрудниками навколишнього природного середовища завдяки своїй токсичності, стійкості в компонентах екосистем та біоаккумулятивним властивостям [1-3, 6-7, 18]. Особливе місце серед вище зазначених поллютантів належить меркурію, сполуки якого відносяться до першого класу небезпечності та є токсичними для біоти [10, 12, 22]. В зв'язку з цим виявлення вмісту у системі «грунт-рослина», закономірностей транслокації та біоаккумуляції розв'язує прикладну проблему наслідків забруднення, що набуває особливої актуальності зокрема для екосистем рекреаційних ландшафтів природоохоронних територій. Саме такі території є важливими центрами природних екосистем та виконують необхідні рекреаційні і оздоровчі функції, що є винятково актуальним для мешканців мегаполісів.

Мета досліджень полягала у оцінці забруднення меркурієм та іншими токсичними металами (Cd, Pb) системи «грунт-рослина» рекреаційних ландшафтів НПП «Голосіївський» для виявлення закономірностей біоаккумуляції та визначення пріоритетних напрямів контролю для зменшення антропогенного навантаження на екосистему парку.

Завдання:

- охарактеризувати небезпечність Hg для людини та біоти;
- відібрати зразки ґрунту та рослин та визначити у них Hg методом атомно-абсорбційної спектрометрії;
- оцінити вміст Hg у рослинах та ґрунті, використовуючи існуючі санітарно-гігієнічні нормативи та зробити порівняльний аналіз із результатами, отриманими стосовно Cd та Pb;
- розрахувати коефіцієнти біоаккумуляції Hg у системі «грунт-рослина» та порівняти інтенсивність біоаккумуляції Hg, Cd, Pb;
- зробити відповідні висновки.

Об'єкт дослідження: поведінка меркурію та інших металів (Cd, Pb) у системі «грунт-рослина» рекреаційних ландшафтів НПП «Голосіївський».

Предмет дослідження: оцінка вмісту меркурію та інших металів (Cd та Pb) у системі «грунт-рослина» рекреаційних ландшафтів НПП «Голосіївський».

Методи дослідження: теоретичний аналіз для узагальнення результатів досліджень вітчизняних та зарубіжних дослідників (при аналізі літературних

джерел); польові та лабораторні (метод атомно-абсорбційної спектрометрії); матстатистики (для оброблення первинних експериментальних даних і оцінювання достовірності одержаних результатів).

Наукова новизна одержаних результатів.

- Вперше досліджено вміст меркурію у надземній фітомасі рослин Кропива 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.) в рекреаційних ландшафтах Дидорівської та Горіхуватської балкових систем НПП «Голосіївський».

- Виявлено, що перевищення у ґрунті (0-20 см) ГДК меркурію на досліджуваній території не виявлено. Серед усіх досліджуваних металів протягом 2019-2020 рр. (Hg, Cd, Pb) перевищення нормативу ГДК у ґрунті (0-20 см) є тільки для свинцю.

- Оцінено інтенсивність біоаккумуляції Hg у системі «ґрунт-рослина» за розрахованими коефіцієнтами біоаккумуляції. Найбільшим коефіцієнтом біоаккумуляції Hg, Cd, Pb характеризувалися такі види рослин: Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), Розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC), Подорожник середній (*Plantago media* L.), що дає можливість рекомендувати ці види для фіторе mediaції.

Практична цінність та рекомендації роботи. Результати досліджень можуть бути використані для контролю за забрудненням токсичних металів та зменшення наслідків забруднення ними екосистем НПП «Голосіївський». Оскільки більшість досліджувальних рослин є лікарськими, встановлення для них гігієнічних нормативів та контроль за забрудненням є необхідною умовою збереження здоров'я людини. Моніторинг забрудників екосистем НПП та інших територій ПЗФ має бути постійним.

За результатами наукових досліджень 2019-2020 років опубліковано 3 друковані праці у співавторстві, з яких одна - англomовна у виданні «Polish Journal of Soil Science» за кордоном, яке індексується наукометричною базою Scopus, друга - у фаховому академічному науково-практичному виданні категорії Б «Екологічні науки», третя - матеріали міжнародної наукової конференції.

РОЗДІЛ 1

НЕБЕЗПЕЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕРКУРІЮ

1.1.Токсикологічні властивості

В історії людства відомо два випадки масового отруєння метил меркурієм. Обидва випадки стались у Японії: Мінамат (1968) та Ніігата (1967), які були викликані промисловим скидом метилових та інших ртутних сполук в затоку Мінамата та ріку Агано, що призвело до накопичення ртуті у рибі на рівні 11 мг/кг сирої маси. Так виник термін «хвороба Мінамата» (яп. 水俣病 Мінамата-Бе) – синдром, що викликається отруєнням органічними сполуками ртуті, симптоми якої включають порушення моторики, парестезії в кінцівках, погіршення чіткості мови, ослаблення зору і слуху, а в важких випадках – параліч і порушення свідомості, що завершуються летальним результатом [21-25]. Причиною виникнення хвороби послужив тривалі скиди компанією «Chisso» в воду затоки Мінамата неорганічної ртуті, яку донні мікроорганізми в своєму метаболізмі перетворювали в метил меркурій, який, зокрема, за рахунок своєї ліпофільності, є одним з найбільш токсичних нейротоксинів, багаторазово більш токсичним, ніж неорганічні сполуки меркурію. Ця сполука є високо біодоступною для біоти, в результаті чого концентрація цієї речовини в тканинах організму зростає з підвищенням його положення в харчовому ланцюжку, тобто відбувається явище біомагніфікації. У рибі в затоці Мінамата вміст метилмеркурію становив від 8 до 36 мг/кг, в устрицях – до 85 мг/кг, в той час як у воді її містилося не більше 0,68 мг/л [15]

За токсиколого-гігієнічною класифікацією, сполуки меркурію відносяться до першого класу небезпечності [6, 7, 13]. Під час вдихання повітря, що містить пари меркурію в концентрації до 0,25 мг/м³, метал затримується й накопичується в легенях. У випадку більш високих концентрацій меркурій усмоктується непошкодженою шкірою. Залежно від кількості токсичного металу й тривалості надходження його до організму людини можливі гострі та хронічні отруєння, а також мікромеркуріалізм. Найбільше до ртутних отруєнь чутливі жінки й діти [12, 21, 24]. Меркуріалізмом називається загальне отруєння організму за хронічного

впливу парів ртуті та її сполук, які незначною мірою перевищують санітарні норми, упродовж кількох місяців чи років. Проявляється ця хвороба залежно від організму і стану нервової системи. Її симптомами є: підвищена втомленість, сонливість, загальна слабкість, головні болі, запаморочення, апатія, а також емоційна нестійкість – невпевненість у собі, сором'язливість, загальна пригніченість, дратівливість. Також спостерігаються: послаблення пам'яті й самоконтролю, зниження уваги та розумових здібностей. Поступово розвивається тремтіння кінчиків пальців під час хвилювання – «ртутний тремор», спочатку пальців рук, потім ніг і всього тіла (губи, вії), позиви до випорожнення, часті позиви до сечовипускання, зниження нюху (очевидно, через пошкодження ферментів, що мають сульфгідрильну групу), шкірної чутливості, смаку. Посилюється пітливість, збільшується щитоподібна залоза, виникають порушення ритму серцевої діяльності, зниження кров'яного тиску. Почерк стає нетвердим, неправильним, часто нерозбірливим. Тремор прогресує, вражає руки, а потім все тіло. Важка інтоксикація викликає розвиток дефектів мовлення, особливо страждає вимова. До інших неврологічних симптомів відноситься гіперемія обличчя, підвищена пітливість і виражений дермографізм. Часто розвивається хронічний гінгівіт, який може привести до втрати зубів. Незважаючи на великий вміст ртуті в нирках, їх враження спостерігається рідко. Відкладення ртуті в передній капсулі кришталика очей викликають (при біомікроскопії) металевий рефлекс з сірувато-коричневим або жовтим відтінком [24, 25]. Захворювання периферичної нервової системи протікають, як правило, за типом множинних невралгій. У осіб, що страждають меркуріалізмом, спостерігаються артеріальна гіпертензія, атеросклероз з коронарними порушеннями, міокардіодистрофія.

Гостре отруєння ртуттю проявляється через кілька годин після початку отруєння. Симптоми гострого отруєння: загальна слабкість, відсутність апетиту, головний біль, біль під час ковтання, металевий присмак у роті, слиновиділення, набряк і кровоточивість ясен, блювання. Як правило, з'являються сильні болі в області живота й тазу, слизовий пронос (іноді з кров'ю). Нерідко спостерігається запалення легенів, катар верхніх дихальних шляхів, біль у

грудях, кашель і задишка, часто сильний озноб. Температура тіла підвищується до 38-40 °С. У сечі постраждалого знаходять значну кількість ртуті. У найважчих випадках за кілька днів настає смерть постраждалого [10]. Різні рівні концентрації ртуті у волоссі підлітків наведено у табл. 1.1 [10, 12, 24].

Таблиця 1.1

Концентрація ртуті у волоссі досліджуваних підлітків

Концентрація, мкг/г			
Мінімальна	Максимальна	Середнє	Межі умовної норми
0,06	0,3	0,134±0,07	0-2

Вкрай токсичним є метил меркурій. Фенільні і метоксиетільні сполуки мають слабку токсичність [6, 7, 21, 24]. Короткочасний вплив парів металевої ртуті в концентраціях, що становлять кілька міліграмів у 1 м², викликає подразнення слизової оболонки бронхів, стоматит з вираженою соліацією і пневмоніт, що супроводжується лихоманкою і задишкою. При випадковому прийомі всередину неорганічних солей, таких як хлориста ртуть, розвиваються місцеві некрози в роті і травному тракті, судинний колапс і гостра ниркова недостатність з олігурією і анурією [6, 7, 10].

1.1.1. Токсиколого-гігієнічні нормативи

Вміст загальної ртуті не повинен перевищувати (Наказ МОЗ від 10 червня 2005 року № 263 Про затвердження методичних вказівок: у крові 25 (50) мкг/дм³; у сечі 10 (25) мкг/дм³; волоссі 700 нг/г [13].

Відповідно до державних санітарних норм і правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10) нормативний вміст меркурію у воді водопровідної становить менше 0,0005 мг/дм³, а у воді джерельній не допускається (табл. 1.2) [14].

Таблиця 1.2

Значення ГДК Hg у водних об'єктах в Україні, мг/дм³

Вода водопровідна	Вода джерельна
<0,0005	Не допускається

Виявлено, що в Україні значення нормативів якості поверхневих вод, призначених для питних потреб, аналогічні до нормативів ЄС та Грузії (табл.1.3) [11].

Таблиця 1.3

Порівняння вітчизняних та європейських нормативів якості поверхневих вод, призначених для питних потреб

Показник	Нормативи якості води питної								ВООЗ
	Україна- ДСанПіН 2.2.4- 171-10	Грузія- СанПіН №297	ЄС-Директиви 98/83/ЄС, 75/440/ЄС						
			A1		A2		A3		
			*G	**I	G	I	G	I	
Меркурій, мкг/дм ³	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1

Примітка: *G – обов'язкові нормативи, 75/440/ЄС; **I – бажані нормативи 75/440/ЄС.

Для поверхневих вод, призначених для рекреаційних потреб, значення нормативу меркурію в Україні нижчі, ніж у ЄС (табл. 1.4) [11].

Таблиця 1.4

Порівняння вітчизняних та європейських нормативів якості поверхневих вод, призначених для рекреаційних потреб

Нормативи якості води для рекреаційних потреб, мкг/дм ³		
Україна	Грузія	ЄС
СанПіН 4630-88	СанПіН №297	Директива 76/160/ЄС
0,5	0,5	1 (0,77)

З'ясовано, що нормативи для дикорослих лікарських (зокрема, лікарських) не встановлені. В Україні чинні МДР меркурію лише у харчових продуктах різного походження. Максимально допустимі рівні меркурію у деяких харчових продуктах рослинного наведено у табл. 1.5 [8].

Таблиця 1.5

Максимально допустимі рівні меркурію
у деяких харчових продуктах рослинного походження

ТОР 5	Харчові продукти	Нг
		Мг/кг
1	Хлібобулочні вироби	0,01
2	Овочі, фрукти, картопля, ягоди	0,02
3	Зернові	0,03
4	Чай	0,10
5	Висівки пшеничні	0,03

За європейськими нормативами ГДК неорганічних сполук меркурію у ґрунті становить 2,2 мг/кг, метил меркурію відповідно – 0,67 мг/кг. Згідно наказу МОЗ України від 10 червня 2005 року № 263 «Про затвердження методичних вказівок «Визначення вмісту ртуті в об'єктах виробничого, навколишнього середовища і біологічних матеріалах» ГДК меркурію у ґрунті становить 2,1 мг/кг. Ртуть та її сполуки відносяться до надзвичайно токсичних речовин (1 клас небезпеки). Гранично допустима концентрація (ГДК) парів ртуті в повітрі робочої зони складає: середньозмінна - 0,005 мг/м³; максимально разова - 0,01 мг/м³. Середньодобова ГДК в атмосферному повітрі складає 0,0003 мг/м³ (ця величина відноситься також до повітря приміщень житлових будинків, шкіл, дитячих дошкільних і медичних установ, учбових закладів) [13].

Таким чином, оцінка небезпечності меркурію у навколишньому природному середовищі здійснюється за чинними нормативами.

1.2. Особливості поведінки ртуті у навколишньому природному середовищі

Ртуть – розсіяний елемент, концентрується в сульфідних рудах. Невеликі кількості металу зустрічаються в самородному вигляді. Сумарна кількість ртуті в океані 206 млн. тон; в наземної біомасі 0,5 млн тон. Середній вміст ртуті (10^{-6} %) у біосфері наведено на рис. 1.1 [6, 7].

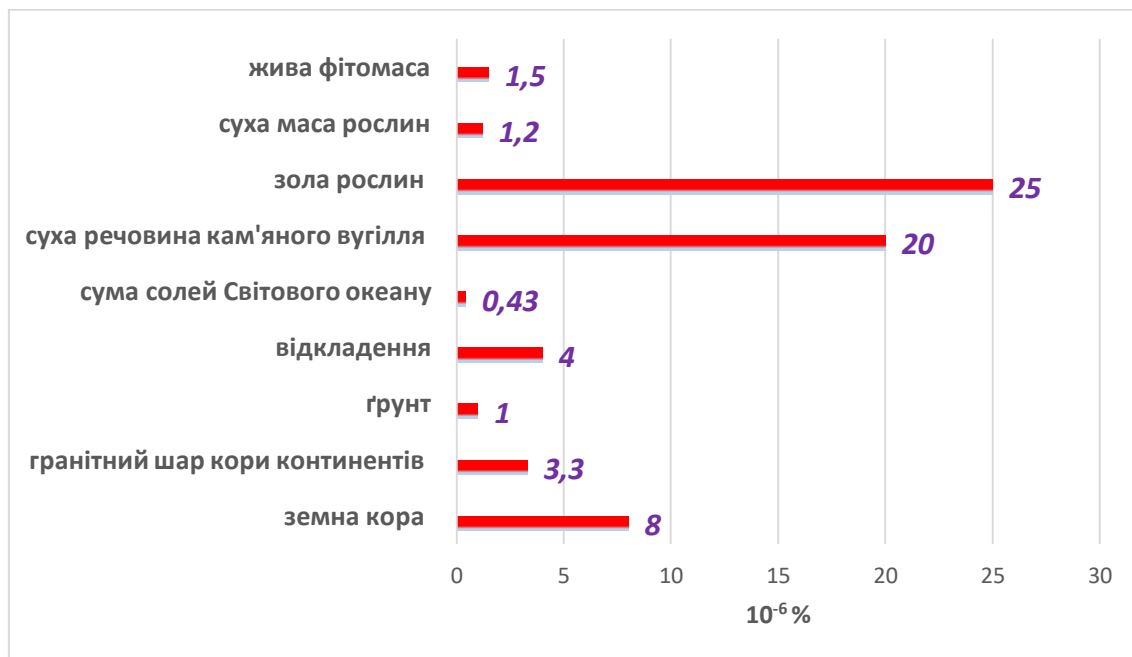


Рис. 1.1 Середній вміст ртуті у біосфері

В атмосфері міститься $(0,4-1,0) \cdot 10^{-9}$ г/м³ ртуті, (приблизно в рівних кількостях у вигляді пари і в сорбованому аерозолями стані). При чому концентрація ртуті над сушею на порядок вище, ніж над океаном. Рівновага між пароподібною та аерозольної формами ртуті досягається за 5 діб, час життя сполук ртуті в атмосфері приблизно 10 діб.

Метал характеризується високою інтенсивністю залучення у водну міграцію ($K_b = 17,58$), високими коефіцієнтами поглинання земної рослинності (7,58) і бурими водоростями (200). З водного середовища розчинні форми ртуті виводяться в донні відкладення шляхом концентрування в небіогенних глинистих мулах з періодом повного видалення $n \cdot 10^4$ років. міцно фіксується ґрунтом, утворюючи

комплекси з гуміновими кислотами. Період напіввиведення (T_{50}) ртуті з ґрунту становить 250 років. Винесення розчинних форм ртуті з річковим стоком з суші в Світовий океан складає 2,6 тисяч т/рік; надходження парів ртуті із земних надр – відповідно 1,0 тисяч т/рік; захоплення біотою суші – 2,0 тисяч т/рік; включення в біологічний кругообіг – 40 тисяч т/рік, зокрема у водних екосистемах близько 10 тисяч т/рік. З 1 м^3 дощової води на Землю випадає 200 мкг ртуті, що за рік становить всього понад 100000 т. Це в 15-20 разів більше, ніж її видобуває людство [6, 7].

Дія ртуті відрізняється високою токсичністю для будь-яких форм життя [6, 7]. Пари металу є фітотоксичними, що виявляється в зменшенні фітопродуктивності і прискоренні старіння рослин [21-25]. Екологічні наслідки забруднення ртуттю реалізуються насамперед у водному середовищі і полягають в пригніченні життєдіяльності одноклітинних морських водоростей (при концентрації 0,1 мкг/л), порушення фотосинтезу, асиміляції нітратів, фосфатів, амонію, а також у зміні структури і функціональних характеристик природних спільнот (при концентрації 1 мкг/л). У цьому ж діапазоні лежать токсичні і порогові концентрації ртуті для водних безхребетних (чутливість знижується в ряду: ракоподібні, молюски, черви, мшанки). Ртуттю в концентраціях 5-10 мкг/л і вище призводить до порушення життєдіяльності на ранніх стадіях розвитку риб, зниження швидкості їх зростання, придушення нюхового аналізатора, порушення клітинного дихання в зябрах і ферментативної активності печінки. Сполуки цього високотоксичного металу здебільшого не розчинні, через водні об'єкти іони металу надходять по ланцюгу живлення до біоти, наприклад, накопичуючись в рибі. Саме екотоксикологічні проблеми трансформації та транслокації сполук ртуті у водних об'єктах екосистем є предметом пильної уваги науковців. Адже металорганічні сполуки ртуті є високо біодоступними, акумулюючись у гідробіонтах.

Щодо патології теплокровних, ртуттю відрізняється широким спектром і великою різноманітністю клінічних проявів токсичної дії в залежності від властивостей речовин, у вигляді яких метал надходить до організму (пари ртуті, неорганічні і органічні сполуки), шляхи надходження та дози. В основі механізму дії

меркурію лежить блокада біологічно активних груп білкової молекули (сульфгідрильних, амінних, карбоксильних тощо) і низькомолекулярних сполук з утворенням зворотних комплексів, що характеризуються нуклеофільними лігандами. Встановлено включення меркурію (II) в молекулу транспортної РНК, що грає центральну роль в біосинтезі білків.

Пари меркурію проявляють нейротоксичність, особливо страждають вищі відділи нервової системи. Спочатку збудливість кори великих півкуль підвищується, потім виникає інертність коркових процесів. Надалі розвивається позамежне гальмування. Неорганічні сполуки меркурію є нефротоксичними. Є відомості про гонадотоксичність, ембріотоксичність і тератогенну дію сполук меркурію.

1.2.1 Джерела надходження меркурію у довкілля

За різними оцінками, щороку в довкілля потрапляють біля двох тисяч тон меркурію [6, 7]. Природні джерела надходження металу – виверження вулканів – складають 50% загального надходження меркурію у довкілля. Пари меркурію, що надійшли у атмосферу сорбуються аерозолями, вимиваються атмосферними опадами, сорбуються ґрунтом, включаючись в кругообіг в ґрунті і воді (іонізуються, перетворюються в солі, піддаються метилюванню, засвоюються рослинами і тваринами). В процесі аерогенної, водної, ґрунтової і харчової міграції Hg^0 перетворюється в Hg^{2+} . Час перебування Hg^0 в атмосфері оцінюється від декількох місяців до двох років; час перебування Hg^{2+} – від декількох днів до декількох тижнів. Концентрація парів меркурію в атмосфері експоненційно зменшується зі збільшенням відстані від джерела забруднення. Домінування пароподібної форми меркурію (співвідношення парів і аерозолю в викидах становить 12: 1 і в міру віддалення від джерела надходження зростає) веде до того, що вона переноситься на дуже великі відстані від джерела надходження, включається в глобальний цикл меркурію. В радіусі до 5 км випадає 6% валового викиду парів меркурію на відстані до 100 км - 60% [6-7]. Природні та техногенні матеріали як джерела надходження ртуті у навколишнє середовище наведені на рис. 1.2.



Рис.1.2 Природні та техногенні матеріали як джерела надходження меркурію у навколишнє середовище

Забруднення Hg, викликане людиною, розподіляється між такими джерелами: спалювання вугілля, видобування золота, виробництво каустичної соди, чорна металургія тощо (рис. 1.3) [6, 7, 21].

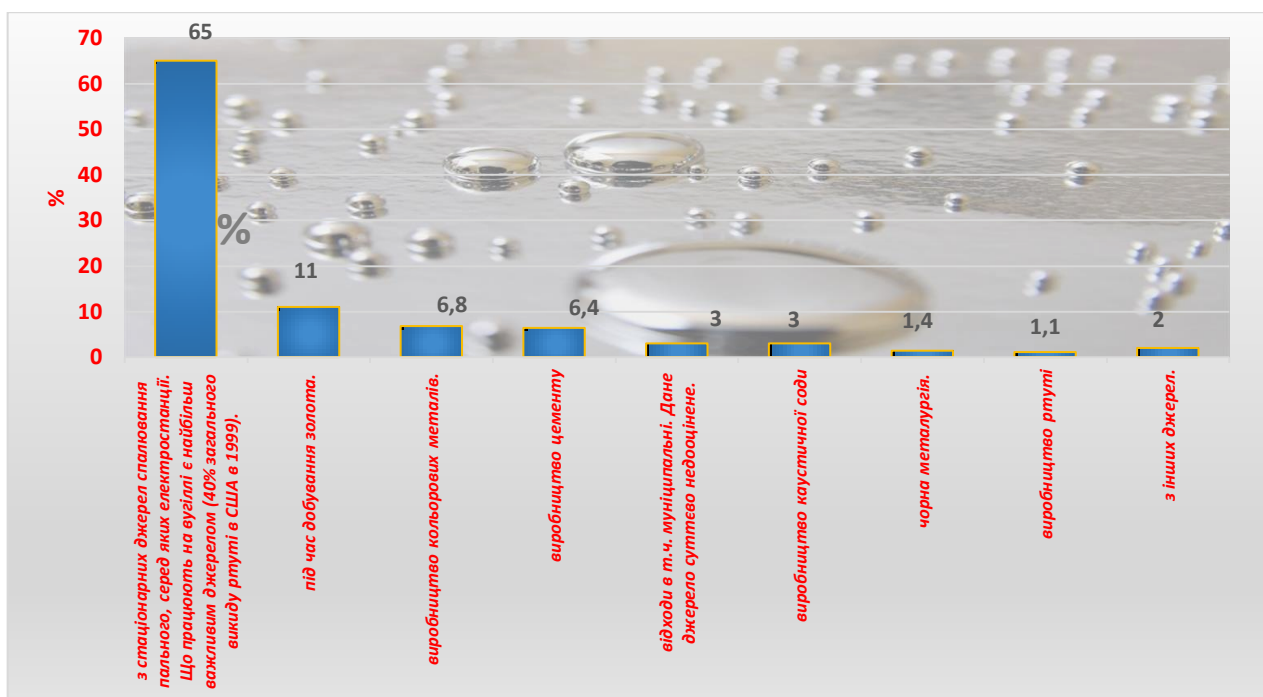


Рис. 1.3 Розподіл антропогенних джерела забруднення меркурієм довкілля

Тільки за рахунок спалювання вугілля протягом ХХ століття навантаження меркурію на одиницю площі суші Землі збільшилася приблизно в 10 разів (з 0,7 до 6 г/км²). Електростанції потужністю 700 МВт, що працюють на вугіллі, щодня викидають через димові труби 2,5 кг металу. Щорічно у атмосферу надходить 0,5 тис. тон меркурію, що становить 50% тієї кількості, яка виділяється в результаті дегазації мантії Землі. При виробництві 1 т чорної міді в атмосферу викидається 2,1 т пилу з вмістом до 4% меркурію. Одним з важливих джерел забруднення меркурієм навколишнього природного середовища є стічні води. Меркурій антропогенного походження є більш небезпечним для довкілля, оскільки відрізняється вищою геохімічною мобільністю у порівнянні із природними формами меркурію (переважно сульфідними, важко розчинними, низьколеткими) [6, 7, 21-25].

Висновок за розділом 1. Проаналізовано небезпечні властивості меркурію для здоров'я людини та біоти, а також його особливості поведінки у навколишньому природному середовищі. Виявлено, що існуючі нормативи у ґрунті, рослинах, воді, повітрі регламентують надходження металів до людини, а для лікарських дикорослих рослин вони відсутні. З'ясовано, що всі сполуки ртуті

відносяться до першого класу небезпечності, сполуки метил меркурію є надзвичайно біодоступними.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Умови проведення дослідження

У світі існує лише кілька національних парків, розташованих у межах мегаполісів. І один з них – «Голосіївський» – знаходиться у Києві. Природні комплекси та об'єкти Київського Полісся та північної частини Лісостепу, які охороняються у парку, мають важливе природоохоронне, наукове, естетичне, освітнє, рекреаційне та оздоровче значення та поліпшують екологічний стан Києва [5].

На території парку, яка репрезентує північну частину Лісостепу, наводиться 752 види вищих судинних рослин природної флори, 150 культурних видів без природного відновлення, а також 155 видів мохоподібних. Тваринний світ НПП «Голосіївський» є дуже різноманітним. Відмічені 192 види хребетних тварин (21 вид риби, 11 видів земноводних, 7 видів плазунів, 108 видів птахів, 45 видів ссавців), близько 600 видів безхребетних тварин (в тому числі 33 види молюсків, 17 видів галових кліщів та 506 видів комах [17, 27]).

На території Голосіївського Парку є три каскади ставків, що знаходяться в долинах струмків Горіховатський, Дідорівський. Голосіївський ліс є унікальний масив широколистяних лісів площею понад 750 га, який знаходиться в області помірно-континентального клімату з фоновим мікрокліматичним впливом великого індустріального міста. Рекреаційні ландшафти НПП «Голосіївський» є дуже популярними у містян.

Проби ґрунту та рослин відбирали у серпні 2020 року на території Національного природного парку (НПП) «Голосіївський»: Дидорівська та Горіхуватська балкові системи (рис 2.1-2.2).

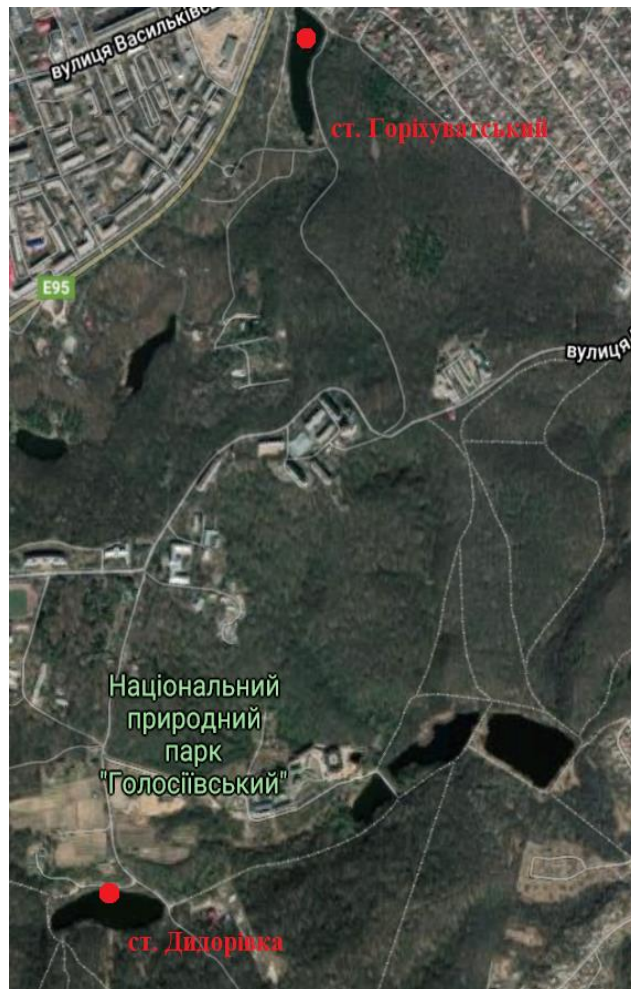


Рис. 2.1 Місця відбору проб у НПП «Голосіївський»

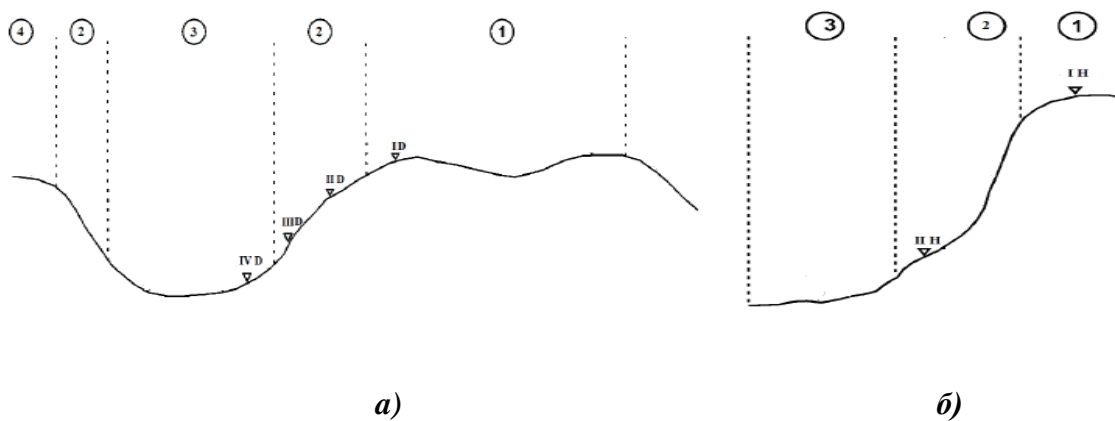


Рис. 2.2 Фрагмент схеми ландшафтного профілю [5, 16, 20]:

- а) Дидорівська балкова система (I D-IV D – місця відбору ґрунту та рослин; 1- вододіл, 2– схил, 3– заплава, 4 - піщана тераса);
- б) Горіхуватська балкова система (I H-II H – місця відбору ґрунту та рослин; 1 - вододіл, 2 - схил, 3 - заплава).

2.2. Методика проведення досліджень

Встановлення вмісту Hg у зразках ґрунту та рослин здійснювалось у «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 таким чином [1-3, 19, 20]:

$$КБ = \frac{C_p}{C_r}, \quad (2.1.)$$

де C_p -концентрація металу у рослині, мг/кг сухої речовини,

C_r -концентрація металу у ґрунті, мг/кг.

Статистичний аналіз даних проводився згідно загально прийнятих методик [9].

2.2.1 Відбір проб ґрунту та рослин у польових дослідженнях

Зразки ґрунту (0-20 см) відбирали за ДСТУ 4287:2004 [26]. Як тест-об'єкти використовувалися такі види рослин: Розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC), деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.), Подорожник середній (*Plantago media*, L) Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), Півники болотні (*Iris pseudacorus* L.), Лопух великий (*Arctium lappa* L.), Злинка однорічна (*Erigeron annuus* L.) (табл. 2.1).

В зв'язку з тим, що за літературними даними найбільший вміст у надземній фітомасі трав'янистих дикорослих рослин є у фазу цвітіння та початку плодоношення, більшість досліджуваних рослин відбирали саме у вище згадані фази.

Таблиця 2.1

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 дрібноквіткава (<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

2.2.2. Визначення Hg атомно-абсорбційним методом

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 +».

Висновок за розділом 2. Проби рослинного матеріалу та ґрунту (0-20 см) були відібрані у польових умовах у рекреаційній зоні НПП «Голосіївський» у серпні 2020 року. Лабораторні аналізи на вміст меркурію атомно-абсорбційної методом виконувались у «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»).

РОЗДІЛ 3

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВМІСТУ Hg У СИСТЕМІ ҐРУНТ-РОСЛИНА РЕКРЕАЦІЙНИХ ЛАНДШАФТІВ НПП «ГОЛОСІВСЬКИЙ»

3.1 Оцінка вмісту Hg у ґрунті

Виявлено, що валовий вміст меркурію на досліджуваних ділянках не перевищував показник ГДК за нормами України, чинними стандартами Європи (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Вміст Hg у ґрунті, 0-20 см

Місце дослідження	Валовий вміст, 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
<i>Коефіцієнт варіації(v), %</i>	≈0
<i>МРС Європа [4]</i>	2,5 (0,67)
<i>МРС Фінляндія [4]</i>	0,5
<i>ГДК Україна [13]</i>	2.1

Найбільшим абсолютним значенням концентрації меркурію характеризувались зразки донних відкладів та ґрунту нижніх частин схилів, що свідчить про здатність до низхідної вертикальної міграції Hg у ландшафті. Оскільки, коефіцієнт варіації менше 30%, то сукупність є однорідною, тобто достовірної різниці між вмістом Hg у ґрунті різних локацій рекреаційних ландшафтів НПП «Голосіївський» немає. Територіальний розподіл ртуті у ґрунті (0-20 см) є однорідним. У попередній роботі (Риженко, 2019) було проведено аналіз вмісту свинцю та кадмію у системі «ґрунт-рослина» НПП «Голосіївський» [19]. Серед усіх досліджуваних металів перевищення нормативу ГДК у ґрунті (0-20 см) виявлено тільки для свинцю (рис. 3.1).

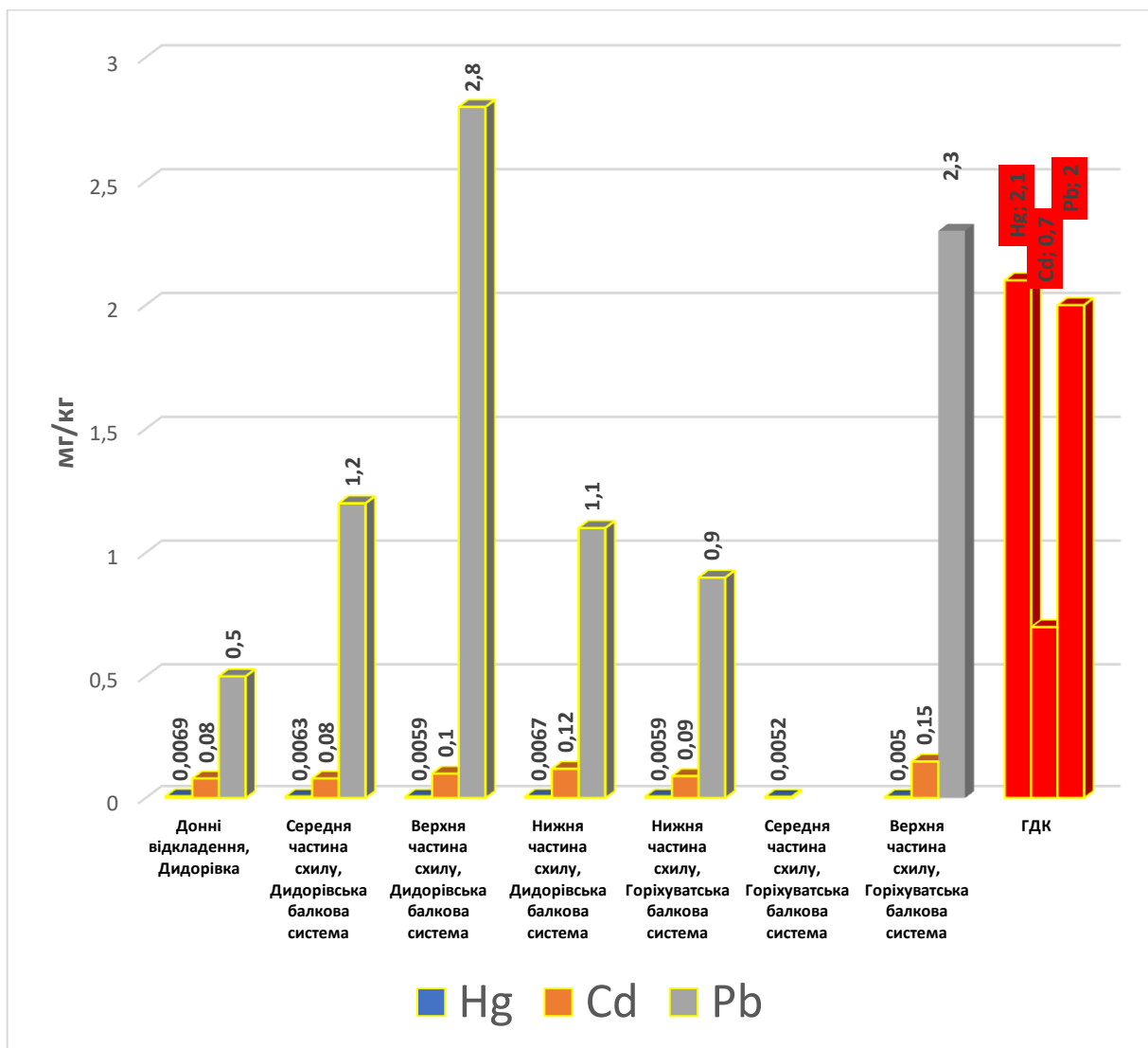


Рис. 3.1 Вміст Hg, Cd, Pb у ґрунті (0-20 см) рекреаційних ландшафтів НПП «Голосіївський»

Загалом, свинець характеризувався найбільшою концентрацією у ґрунті серед досліджуваних металів, що дає підставу рекомендувати цей метал як індикаторний забрудник при контролі вмісту токсичних металів рекреаційних ландшафтів парку.

3.2. Порівняльний аналіз вмісту Hg у фітомасі рослин

Найбільшим вмістом меркурію у загальній фітомасі характеризувалась кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), а найменшим – півники болотні (*Iris pseudacorus* L.) (табл. 3.2). Це пояснюється різною видовою чутливістю та неоднаковою біодоступністю до досліджуваного металу у рослин, про що свідчить коефіцієнт осциляції (K_г), який відображає відносне коливання крайніх значень коло середньої, становить 75,45 %. Водночас коефіцієнт варіації становить менше 30%, тому сукупність є однорідною, тобто достовірної різниці між вмістом Hg у досліджуваних рослинах немає.

Таблиця 3.2

Вміст Hg у рослинах

Вид рослин	Вміст 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	0,02

Коефіцієнт варіації(v), %	≈ 0
Коефіцієнт осциляції (Kr), %	75,45

Встановлено ряд за вмістом 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.) (рис. 3.2).

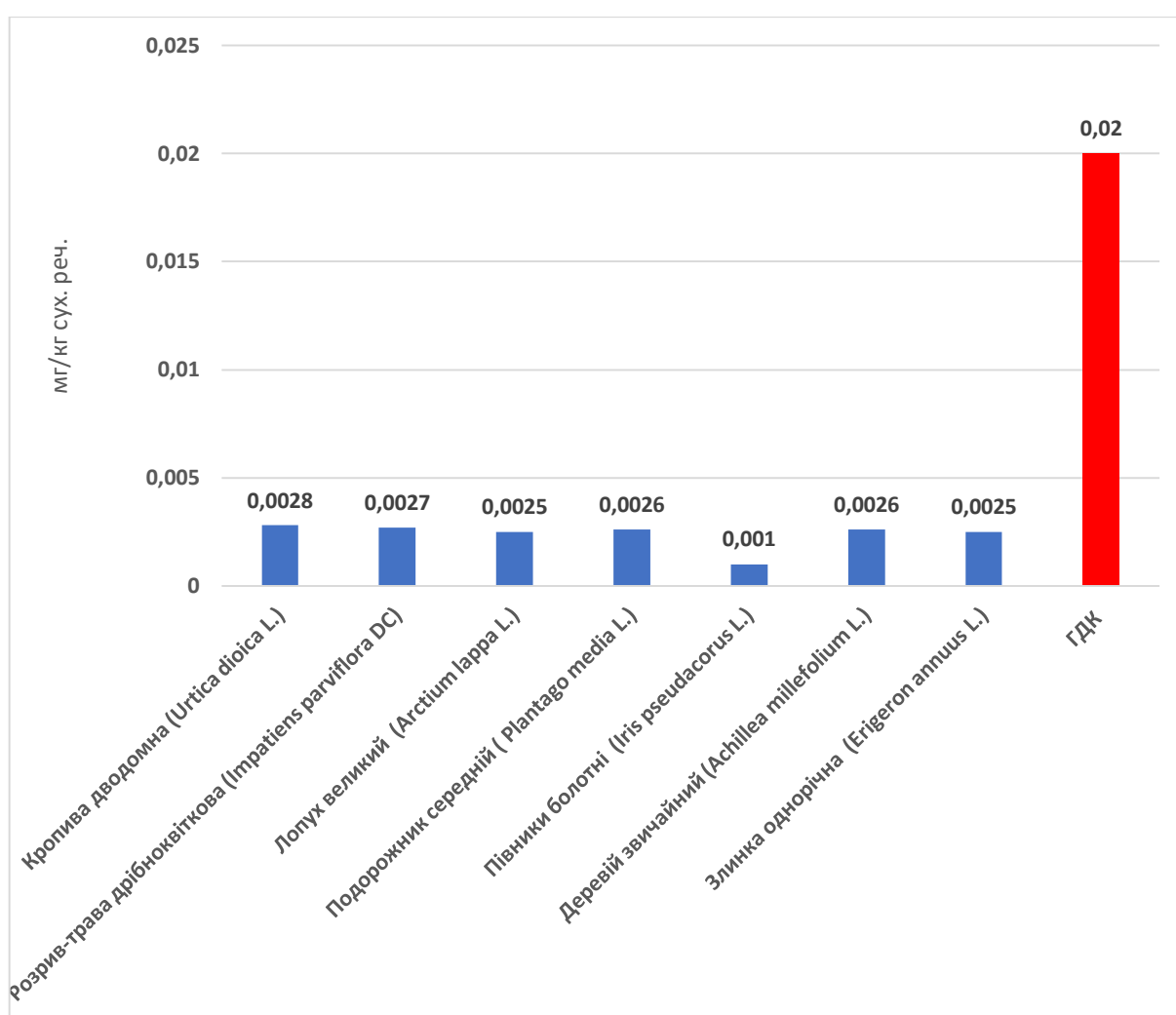


Рис. 3.2 Вміст Hg у фітомасі деяких видів рослин рекреаційних ландшафтів
НПП «Голосіївський»

Оскільки немає ГДК для лікарських (дикорослих рослин), ми у нашій роботі орієнтувалися на значення 0,02 мг/кг сухої речовини, яке встановлене як гігієнічний норматив для овочів, картоплі, фруктів, винограду та ягід.

Виявлено, що вміст меркурію у досліджуваних рослинах не перевищував вище зазначений встановлений показник. Проте у попередній роботі нами було встановлено перевищення нормативу для кадмію та свинцю (аналогічно спираючись на значення ГДК для овочів виду *Brassica*) у певних видах дикорослих рослин, що дозволило рекомендувати провадити екологічний контроль та моніторинг токсичних металів саме за кадмієм та свинцем.

Найбільшим вмістом Hg, Cd, Pb характеризувалися такі види рослин: Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), Розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC), Подорожник середній (*Plantago media* L.), що дає можливість рекомендувати ці види для біотестування забруднення екосистем токсичними металами, а також використовувати вище зазначенні види для фітореMediaції (рис. 3.3).

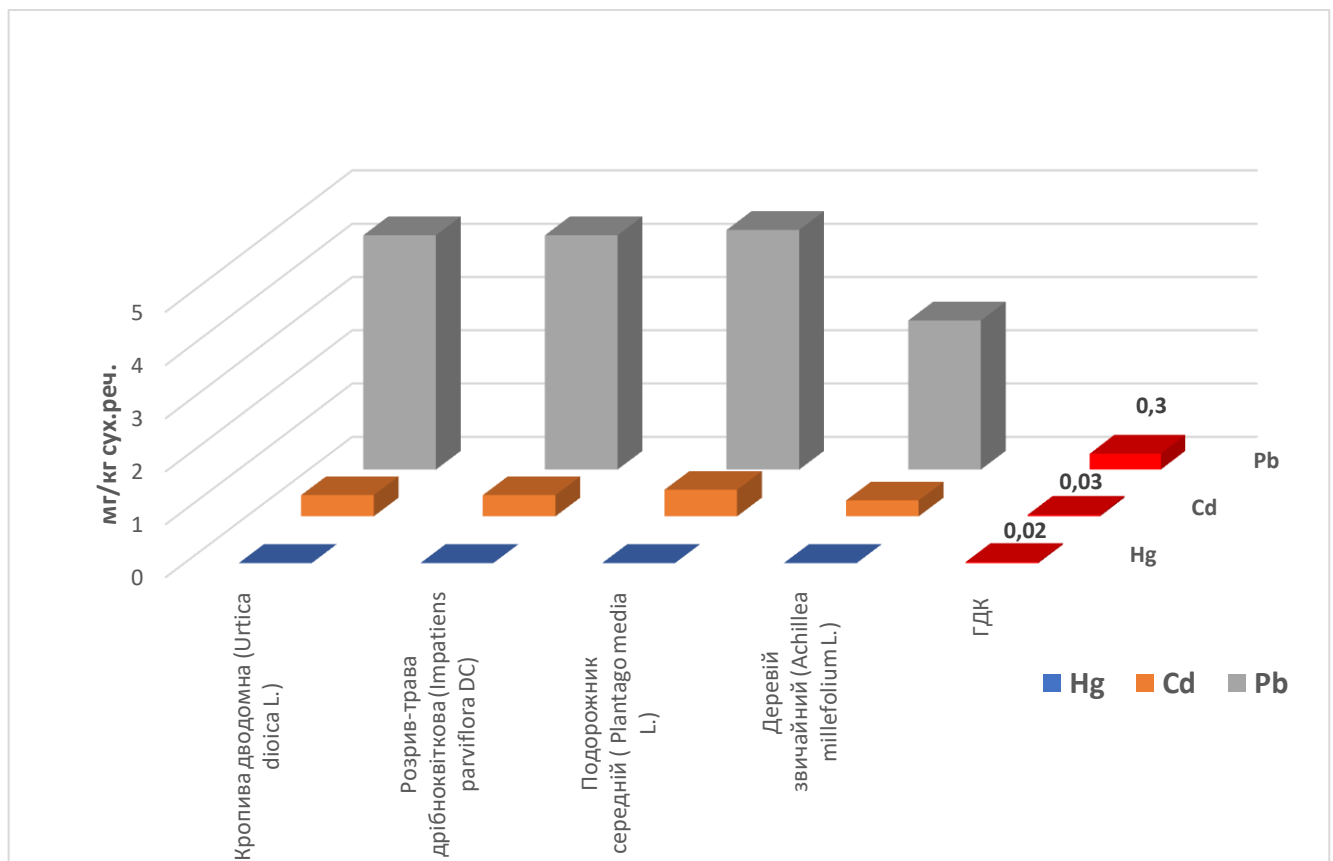


Рис. 3.3 Вміст Hg, Cd, Pb у фітомасі деяких видів рослин рекреаційних ландшафтів
НПП «Голосіївський»

3.3 Біоаккумуляція Hg у системі «грунт-рослина»

Найбільшим коефіцієнтом біоаккумуляції (Кб) характеризувалась кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), найменшим відповідно – півники болотні (*Iris pseudacorus* L.) (табл. 3.3). Оскільки коефіцієнт варіації більше 30%, то варіація між коефіцієнтами біоаккумуляції є помірною. Це свідчить про різний ступінь біодоступності різних видів рослин по відношенню до меркурію, що пояснюється фізіологічними особливостями видів, тобто «бар'єрним-безбар'єрним» механізмом поглинання мікро-та ультрамікроелементів у системі «грунт-рослина».

Таблиця 3.3

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
<i>Коефіцієнт варіації (v), %</i>	39,73
<i>Коефіцієнт осциляції (Kr), %</i>	118,11

Встановлено ряд інтенсивності біоаккумуляції за вмістом металу у фітомасі таких рослин: Крива 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.) (рис. 3.4).

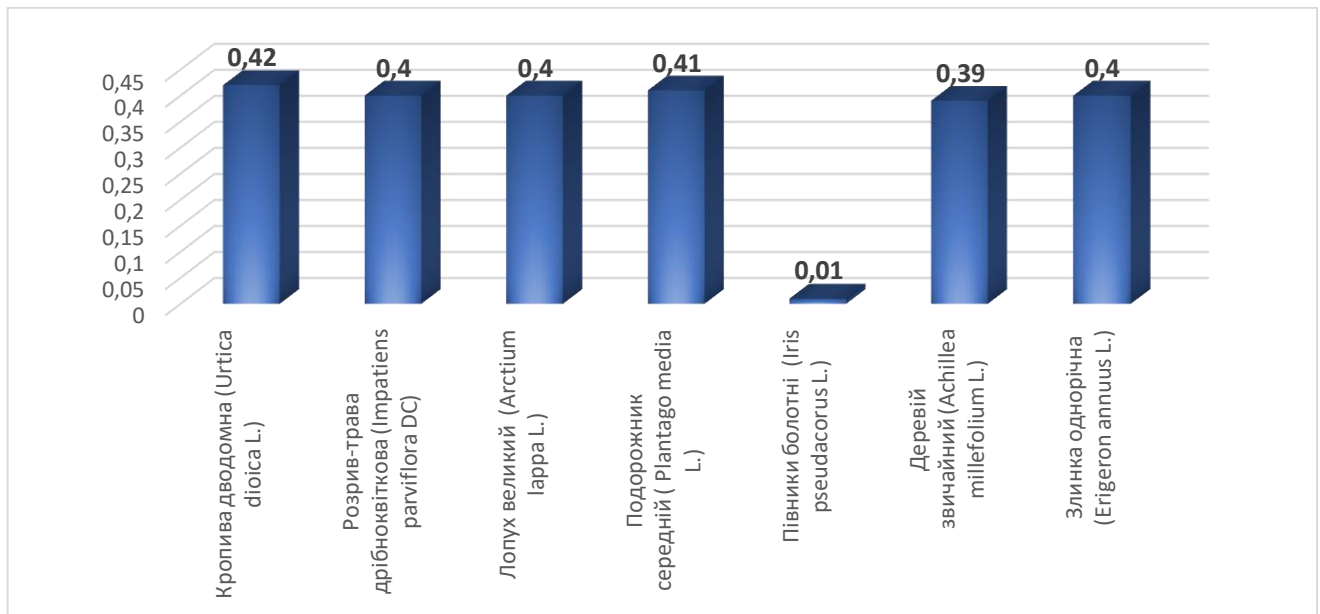


Рис. 3.4 Коефіцієнти біоаккумуляції (Кб) Hg у системі «грунт-рослина»

Найбільшим коефіцієнтом біоаккумуляції (Кб) Hg, Cd, Pb характеризувалися такі види рослин: Крива дводомна (*Urtica dioica* L.), Розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC), Подорожник середній (*Plantago media* L.), що дає можливість рекомендувати ці види для біотестування забруднення екосистем токсичними металами, а також використовувати вище зазначенні види для фітореємедіації (рис. 3.5).

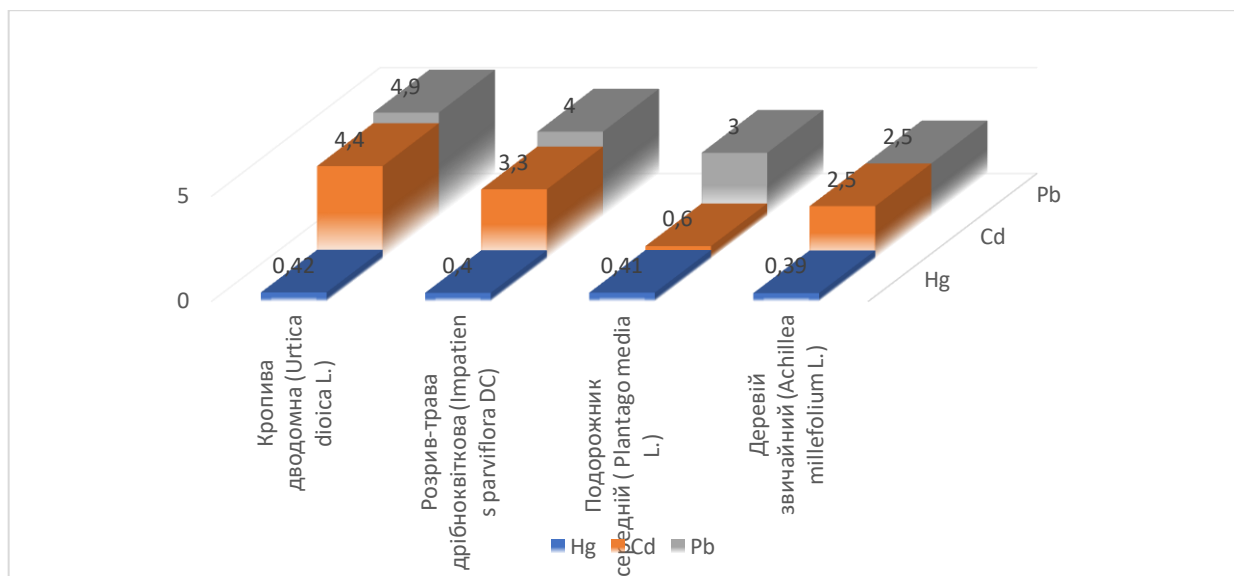


Рис. 3.5 Коефіцієнти біоаккумуляції (Кб) Hg, Cd, Pb у системі «грунт-рослина» для деяких видів рослин

Висновок за розділом 3. Перевищення у ґрунті (0-20 см) ГДК валової форми ртуті на досліджуваній території не виявлено. Серед усіх досліджуваних металів (Hg, Cd, Pb) перевищення нормативу ГДК у ґрунті (0-20 см) є тільки для свинцю. У зв'язку з цим доцільним є рекомендувати свинець як індикаторний забрудник при контролі вмісту токсичних металів рекреаційних ландшафтів парку.

Найбільшим вмістом ртуті у загальній фітомасі характеризувалась кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), а найменшим – півники болотні (*Iris pseudacorus* L.). Найбільшим вмістом Hg, Cd, Pb характеризувалися такі види рослин: Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), Розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC), Подорожник середній (*Plantago media* L.). Оскільки лікарські рослини є широкоживаними, доцільно для них розробити нормативи стосовно токсичних металів.

Найбільшим коефіцієнтом біоаккумуляції Hg характеризувалась кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), найменшим відповідно – півники болотні (*Iris pseudacorus* L.).

Найбільшим коефіцієнтом біоаккумуляції Hg, Cd, Pb характеризувалися такі види рослин: Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), Розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC), Подорожник середній (*Plantago media* L.),

що дає можливість рекомендувати ці види для біотестування забруднення екосистем токсичними металами, а також використовувати вище зазначенні види для фіторемедіації

ВИСНОВКИ

1. За літературними даними проаналізовано небезпечні властивості меркурію для здоров'я людини та біоти, а також особливості його поведінки у навколишньому природному середовищі. Виявлено, що існуючі нормативи у ґрунті, рослинах, воді, повітрі регламентують надходження металів до людини, а для лікарських дикорослих рослин вони відсутні.
2. Перевищення у ґрунті (0-20 см) ГДК валової форм меркурію на досліджуваній території не виявлено. Серед усіх досліджуваних металів протягом 2019-2020 рр. (Hg, Cd, Pb) перевищення нормативу ГДК у ґрунті (0-20 см) є тільки для свинцю. У зв'язку з цим доцільним є рекомендувати свинець як індикаторний забрудник при контролі вмісту токсичних металів рекреаційних ландшафтів парку.
3. Найбільшим вмістом меркурію у загальній фітомасі характеризувалась кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), а найменшим – півники болотні (*Iris pseudacorus* L.). За результатами досліджень 2019-2020 рр. найбільшим вмістом Hg, Cd, Pb характеризувалися такі види рослин: Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), Розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC), Подорожник середній (*Plantago media* L.). Оскільки лікарські рослини є широкоживаними, доцільно для них розробити нормативи стосовно токсичних металів.

4. Найбільшим коефіцієнтом біоаккумуляції Hg характеризувалась кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), найменшим відповідно – півники болотні (*Iris pseudacorus* L.).

За результатами досліджень 2019-2020 рр. найбільшим коефіцієнтом біоаккумуляції Hg, Cd, Pb характеризувалися такі види рослин: Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), Розрив-трава дрібноквітка (*Impatiens parviflora* DC), Подорожник середній (*Plantago media* L.), що дає можливість рекомендувати ці види для біотестування забруднення екосистем токсичними металами, а також використовувати вище зазначенні види для фітореMediaції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Alloway B.J. Heavy metals in soils. Trace elements and Metalloids in Soils and their Bioavailability. UK: Springer. Third edition, 2010. 235 p.
2. Basri H., Bieby V., Siti R. A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. International Journal of Chemical Engineering, 2011. Vol. 2011. 31 p.
3. Bradl H. Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation. Neubrucke. Germany: Academic Press, 2005. 282 p.
4. 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. The Netherlands: National Institute of public Health and ENVI BILTHOVEN: 1997. 221 p.
5. Бондар О.І., Риженко Н.О. Фітотоксикологічна класифікація металів за інтенсивністю їх біоаккумуляції в умовах зелених паркових зон м. Києва. Агроекологічний журнал. 2017. (№ 3). С. 32-40.
6. Вредные вещества в промышленности: Справочник для химиков, инженеров и врачей : коллект. моногр. / відп. ред. Н. Лазарева і Е. Левина/ Л.: Химия, 1976. 432 с.
7. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов V-VIII групп: Справочник / відп. ред. В. Филов/ Л.: Химия Ленинградское отделение, 1989. 592 с.
8. Державні гігієнічні правила і норми «Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах». Наказ МОЗ від 13.05.2013 № 368// База даних «Законодавство України»/ Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0774-13> (дата звернення 10.11.2020)
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Ленинград: Агропромиздат, 1985. 351 с.
10. Зербино Д.Д. Болезни, вызываемые тяжелыми металлами. Ртутная болезнь. Превентивна медицина. Екологічна патологія: ртутна хвороба 2010. №10 (76).

- 1-4 с. URL: <http://www.health-medix.com/articles/misteztvo/2010-12-17/10DDZKPP.pdf> (дата звернення 04.10.2020)
11. Клименко М.О., Вознюк Н. М., Вербецька К. Ю. Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод. Наукові доповіді НУБіП. 2012. №8(30). URL: http://nd.nubip.edu.ua/2012_1/12kmo.pdf (дата звернення 04.10.2020)
12. Медведь Л.І. Токсикологія деяких органічних сполук ртуті. Київ: Держмедвидав, 1946. 148 с.
13. Наказ МОЗ України від 10 червня 2005 року № 263 «Про затвердження методичних вказівок «Визначення вмісту ртуті в об'єктах виробничого, навколишнього середовища і біологічних матеріалах» // База даних «Законодавство України»/ Верховна Рада України. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/view/MOZ4523?an=32> (дата звернення 01.09.2020).
14. Наказ МОЗ України від 12 травня 2010 року № 400 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» // База даних «Законодавство України»/ Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення 06.09.2020).
15. Лойт А. О. Общая токсикология. СПб: ЭЛБИ-СПб, 2006. 224 с.
16. Повний звіт про виконання науково-дослідної роботи за I–II етап за темою «Екологічний моніторинг ландшафтної зеленої зони м Києва (Голосіївсько-Феофанівської лісопаркової зони) з метою визначення основних техногенних факторів забруднення і оптимальних шляхів відновлення природних екосистем» (ДР № 0102U002960). К.: НАУ. 2002. 110 с.
17. Прядко О.І., Арап Р.Я., Субота В.В. Раритетна компонента флори НПП «Голосіївський»: Матеріали Українського екологічного конгресу (м. Київ, 27–28 жовтня 2008 р.). К, 2008. С. 247–251.
18. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Рос. молодая, 1994. 367 с.

19. Риженко Д.І. Екологічний моніторинг кадмію та свинцю у рекреаційних ландшафтах національного парку «Голосіївський». Учнівська робота. Київ: КПНЗ «Київська Мала академія наук учнівської молоді». 2019. 34 с.
20. 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> (дата звернення 18.11.2020).
21. Ртуть и здоровье. Информационный бюллетень ВОЗ №361. Январь 2016 // World Health Organization / URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/ru/> (дата звернення 14.11.2020)
22. Трахтенберг И.М. Книга о ядах и отравлениях: Очерки токсикологии. Київ: Наукова думка, 2000. 368 с. 21.
23. Трахтенберг И.М. Тяжелые металлы как химические загрязнители производственной и окружающей среды. Довкілля та здоров'я. 1997. (№ 2). С. 48-51.
24. Трахтенберг И.М., Коршун М.Н. Ртуть и ее соединения. В кн.: Вредные вещества в промышленности. Справочник. Изд. 7. Том III / Под ред. Н.В.Лазарева, И.Д.Гадаскиной. Л.: Химия, 1977. 608 с.
25. 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.
26. Якість ґрунту. Відбір проб ґрунту: ДСТУ 4287:2004 [Чинний від 2005–01–07]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 9 с. (Національний стандарт України).
27. Якубенко Б.Є., Григора І.М. Флора і рослинність Голосіївського лісу та прилеглих територій. Екологія Голосіївського лісу. Київ, 2007. С. 21–34.