

УДК 550.4

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ОЦІНКА ҐРУНТІВ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ, ЗАБРУДНЕНИХ МУЛАМИ СТІЧНИХ ВОД

В.Р. Клос¹, Е.Я. Жовинський², Крюченко Н.О.², М.В. Приходько¹

1– Державне підприємство "Українська геологічна компанія"

02088, пров. Геофізиків, 10, Київ, Україна

2– Інститут геохімії мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

03680, просп. Палладіна, 34, Київ-143, Україна

Резюме. Представлено результати вивчення геохімічного стану (Ag, Cu, Pb, Cd, Zn, Hg, Ni, вміст органічної складової) поверхневих відкладів (ґрунтів) Київської області, забруднених мулами стічних вод Бортницької станції аерації (БСА). Визначено геохімічні асоціації, надано еколого-геохімічну оцінку ґрунтів, розраховано геохімічні параметри. За сумарним показником забруднення встановлено, що поверхневі відклади ділянок, забруднених мулами характеризуються надзвичайно небезпечним рівнем забруднення: мулові поля БСА (396), ґрунти клумб (280), перелогові ґрунти (236), сільськогосподарські ґрунти (186). Це свідчать про неможливість використання мулів в якості органічних добрив для вирощування сільськогосподарської продукції. Встановлено, що, при наявності органічної складової у поверхневих відкладах Zn і Cd трансформуються в більш рухомі, а Cu і Pb – в менш рухливі сполуки, що необхідно враховувати при необхідності застосування добрив.

Ключові слова: мули стічних вод, важкі метали, поверхневі відклади, геохімічні асоціації, еколого-геохімічна оцінка

Вступ. Мули каналізаційних стічних вод із-за своєї високої поживності для рослин (велика концентрація біологічно доступного азоту, фосфору, калію) інтенсивно використовувались в якості органічних добрив при вирощуванні сільськогосподарської продукції. Але геохімічні дослідження показали, що ці відходи забруднені важкими металами, а їх використання в якості сільськогосподарських добрив, може призвести до забруднення сільськогосподарських земель токсичними хімічними елементами і, як наслідок, - сільськогосподарської продукції. У зв'язку з цим, в 1983 році на території України, було припинено використання мулів стічних вод та мулових вод для сільськогосподарських потреб.

Багато уваги цим питанням приділяють як вітчизняні так і закордонні дослідники, але загальної точки зору на можливість використання таких мулів для підвищення родючості

земель не досягнуто. В деяких країнах світу, мули стічних вод використовуються в сільському господарстві і сьогодні, за умови не перевищення в них встановлених лімітів вмісту за деякими токсичними елементами (табл. 1).

Згідно таблиці, найбільший допустимий валовий вміст важких металів в осадах стічних вод, призначених для сільськогосподарського використання в якості добрив характерно для Німеччини і Швейцарії. В Україні допустимий валовий вміст важких металів в сухому осаді найменший для наступних металів: Zn, Cu, Pb, Ni, Hg.

Мета роботи - оцінити ступінь забруднення ґрунтів (поверхневих відкладів) Київської області, забруднених мулами стічних вод від БСА за геохімічними показниками.

Характеристика ділянок досліджень. В адміністративному відношенні ділянка досліджень розташована в північно-західній частині Бориспільського району Київської області та простягається в південно-східному напрямку від Бортницької станції аерації (БСА) до с.Ревне, а в північно-східному напрямку від с.Гнідин до с.Щасливе. БСА - комплекс інженерних споруд, обладнання та комунікацій, призначений для повної біологічної очистки стічних вод Києва та обробки затриманих забруднень. На станції проходять очистку всі побутові стічні води, а також стоки промислових підприємств після попередньої їх очистки на самих підприємствах.

Склад поверхневих відкладів наступний: мулові поля – торф'яно-мулові відклади чорного кольору; сільськогосподарські землі – піщано-суглинисті ґрунти темно-сірого і бурого кольору; перелогові землі – супісь темно-сірого і сірого кольору; декоративні клумби – торф'яниста супісь чорного і темно-сірого кольору; перелогові землі – супіски темно-сірого і сірого кольору.

Для встановлення ступеню забруднення ґрунтів було обрано 5 видів ділянок. Перша група ділянок з максимально високою концентрацією важких металів - в межах мулових полів (джерело забруднення). Друга група ділянок з високою концентрацією важких металів (забруднені ділянки мули стічних вод) - в межах сільськогосподарських земель та на клумбах декоративних рослин Третя група ділянок, з умовно фоновою концентрацією важких металів (контрольна), була вибрана в межах сільськогосподарських та перелогових (цілинних) земель (рис.1).

Методика робіт. Проби поверхневих відкладів (ґрунт, мул) відбирались без регулярної мережі на сільськогосподарських землях (поля, городи і клумби), в природних ландшафтах (луки, пустирі і т.п.) і на мулових полях. Випробування виконувалось спеціальним пробовідбірником в п'яти точках методом „конверту” із стороною квадрату 10 м до глибини 10 см в природних ландшафтах та на мулових полях і до глибини 20 см, або на усю потужність орного шару в межах сільськогосподарських угідь та на клумбах.

Відібрані точкові проби об'єднувались в одну загальною вагою 1,0 – 1,5 кг. Всього було відібрано 41 пробу поверхневих відкладів. Після висушування та просіювання на капроновому ситі 2 мм, відібрані проби квартувались, відбирались лабораторні наважки і дублікати проб та здавались на пробопідготовку і наближено кількісний спектральний аналіз та на визначення рухомих форм – Hg, Pb, Cd, Ni, Cu, Zn, Ag.

Лабораторні роботи включали: підготовку літохімічних проб (мули, ґрунти) до аналітичних досліджень (подрібнення проб до розміру часток менше 0,074 мм); наближено кількісний спектральний аналіз літохімічних проб з реєстрацією спектра фотоелектронною касетою (АС-ФЕК - методика Укрметртестстандарт № МВВ–081/12-0665-09); атомно-абсорбційний аналіз літохімічних проб на Hg методом „холодної пари” (AAS Cold vapour); аналіз літохімічних проб на рухомі форми виконувався за методикою ДСТУ EN 13651:2012 (витяжка розчином CaCl_2 +ДТПА) [3]. Визначення Pb, Cd і Ag виконувалось атомно-абсорбційним методом в графітовій кюветі (AAS-ETA), Ni, Cu, Zn – атомно-абсорбційним методом в ацетилен-повітряному полум'ї (AAS-Flame), а органічна речовина ($\text{C}_{\text{орг}}$) обмінним хімічним методом. Усі лабораторні дослідження відібраних проб поверхневих відкладів та рослинності виконувались в Центральній лабораторії ДП "Українська геологічна компанія" відповідно діючих нормативних документів з використанням рекомендованих засобів вимірювання, які пройшли державну повірку (свідоцтво про атестацію Державної служби геології та надр України за № 061/2012 від 01.03.2012 р. та чинного до 01.03.2017 р.).

Для еколого-геохімічної оцінки забруднення поверхневих відкладів (ґрунтів) використовувався наступні параметри: коефіцієнт концентрації відносно ГДК – Кс (ГДК); коефіцієнт концентрації відносно фонового вмісту – Кс (фон); Ср – вміст рухомих форм, Св – вміст валових форм, Ср(%) – процентний вміст рухомих форм по відношенню до валового, а також розраховано сумарний показник забруднення: $Z_c = \sum C_i / C_f - (n-1)$ [2].

Результати та обговорення. Ґрунт є основним джерелом надходження важких металів і мікроелементів у харчові ланцюги. Він забезпечує мікроелементами безпосередньо рослини і непрямим шляхом – тварин і людину. При техногенному забрудненні, саме ґрунт є початковою ланкою надходження важких металів та інших токсичних речовин по харчових ланцюгах у організм людини. Мули стічних вод є сприятливим середовищем для вирощування рослин. Вміст біологічно доступного азоту, фосфору і калію в них є значно вищим у порівнянні із природними ґрунтами, саме тому питання використання мулів, як добрив є вкрай актуальним [4].

Основними об'єктами для проведення досліджень слугували сім типів ділянок: мулові поля БСА; ґрунти, забруднені мулами: сільськогосподарські, перелогові, клумби; незабруднені ґрунти: фонові («чисті»), перелогові, клумб (суміш торфу і ґрунту).

По кожному типу ділянок виконано аналітичні роботи – визначено вміст валових і рухомих форм важких металів у поверхневих відкладах та розраховано геохімічні показники (табл. 2)

Для визначення еколого-геохімічного стану поверхневих відкладів використовують значення валового вмісту відносно гранично допустимих концентрацій та фонового вмісту.

Валовий вміст важких металів доцільно використовувати для загальної характеристики стану ґрунтів і їхньої потенційної небезпечності. Тому, за кожним типом ділянки було розраховано ці показники та визначено геохімічні асоціації металів у поверхневих відкладах (табл. 3).

За показником Кс (фон) найбільшим елементом-забруднювачем поверхневих відкладів всіх ділянок є Ag: при забрудненні мулами перевищення вмісту складає 180–222 разів, для не забруднених – 9–18 разів. Це пов'язано з наступним: наночастинки срібла мають антибактеріальні і антигрибкові властивості, тому їх додають майже до усіх продуктів, в результаті чого метал потрапляє в стічні води і добре розчиняється. В присутності гумінових кислот іони срібла за добу збираються в наночастинки, а кислоти перешкоджають їх подальшому злипанню в мікрочастинки. Тобто, якщо срібло з антропогенних наночастинок і розчиниться у воді, то воно незабаром знову утворює наночастинки.

За показником Кс (ГДК) геохімічні асоціації встановлено лише для земель, забруднених мулами стічних вод. Але, значення ГДК для Ag не існує, тому в геохімічних асоціаціях переважає Cu. Це пов'язано з оберненою залежністю між ступенем рухомості металу і органічної складової.

Розрахунок Zс дозволив встановити, що поверхневі відклади ділянок, забруднених мулами характеризуються надзвичайно небезпечним рівнем забруднення: мулові поля БСА (396), ґрунти клумб (280), перелогові ґрунти (236), сільськогосподарські ґрунти (186). Отримані результати досліджень свідчать про неможливість використання мулів стічних каналізаційних вод в якості органічних добрив для вирощування сільськогосподарської продукції, так як це є фактором прямої екологічної дії на довкілля.

Важливо підкреслити, що це потенційно небезпечні території (розрахунок ведеться за перевищенням елемента до фонового вмісту), однак основним критерієм для рослин є рухомість металів, що визначає перехід металу у трофічному ланцюгу – «ґрунт-рослина-тварина-людина» і тут важливим є вміст органічної складової, що може сприяти покращенню рухомості, чи навпаки.

У мулових осадах вміст Сорґ. максимально і складає 0,94%, мінімально – 0,04% притаманна ґрунтам перелогових земель. Саме завдяки внесенню органічної речовини до

грунту збільшується його буферність, що перешкоджає надходженню до рослин важких металів. Процеси взаємодії органічної речовини ґрунту з іонами металів ідентифікуються як іоноутворення, адсорбція на поверхні, хелатування, реакції коагуляції. Основними продуктами взаємодії є прості солі (гумати, фульвати) і хелатні сполуки.

Було проаналізовано вплив Сорґ. поверхневих відкладів на ступінь рухомості (Ср) металів — Cd, Zn, Cu, Pb (рис. 2). Встановлено, позитивну кореляційну залежність ($r > 0,8$) між Сорґ. та Ср для Cd і Zn. Найбільший ступінь рухомості Cd (39,1%) та Zn (6%) металів фіксується у мулових полях, другий пік характерно для ґрунтів клумб, що забруднені мулами (максимальний вміст органічної речовини). Найменший вміст органічної речовини (0,04%), і ступеня рухомості Cd (10,8%), Zn (1,7%) притаманний ґрунтам перелогових земель. Тобто, при зменшенні вмісту органічної речовини у поверхневих відкладах у 20 разів, ступінь рухомості Cd і Zn зменшується у 3 рази.

Для Ср Cu і Pb виявлена негативна кореляційна залежність ($r < -0,7$) з Сорґ. У мулових полях, де вміст органічної речовини максимальний і складає 0,94% рухомість Cu і Pb становить 2,9% та 7,4 % відповідно, при мінімальному вмісті органічної речовини на перелогових землях (0,04%) ступінь рухомості елементів підвищується у 1,5—2 рази. Тобто, при наявності органічної складової Zn і Cd трансформуються в більш рухомі, а Cu і Pb — в менш рухливі сполуки.

Розглядаючи процеси сорбції металів у ґрунту необхідно зазначити, що згодом відбувається зміцнення зв'язку важких металів з ґрунтовим поглинаючим комплексом, тобто зменшення вмісту водорозчинних та неміцно пов'язаних форм. В природних умовах цьому сприяє часта зміна режимів зволоження та висушування ґрунту. В процесі сорбції важких металів ґрунтом вони мобілізують і переводяться в нетоксичні форми, деякі входять в кристалічну ґратку алюмосилікатів.

Застосування мулових відкладів в якості добрив дозволяє використовувати властивість багатьох органічних сполук до комплексоутворення з важкими металами. Утворені металоорганічні комплекси є або малорухомими, або неспроможними до подолання клітинних мембран у системі «ґрунт-корінь».

Але к питанню застосування мулових відкладів треба підходити дуже обережно, бо як показали наші дослідження, ступінь рухомості елементів відмінна, в залежності від вмісту органічної складової.

Висновки. Результати вивчення геохімічного стану (Ag, Cu, Pb, Cd, Zn, Hg, Ni, вміст органічної складової) поверхневих відкладів Київської області, забруднених мулами стічних вод Бортницької станції аерації (БСА) дозволили встановити надзвичайно небезпечний рівень забруднення (за сумарним показником): мулові поля БСА (396), ґрунти клумб (280),

перелогові ґрунти (236), сільськогосподарські ґрунти (186). Це свідчать про неможливість використання мулів в якості органічних добрив для вирощування сільськогосподарської продукції, а вирощування декоративних рослин на забруднених ґрунтах, включає важкі метали в біологічний кругообіг.

Еколого-геохімічна оцінка (валовий вміст) на забруднених мулами ґрунтах дозволила визначити найбільш потенційно небезпечні елементи – Ag, Hg, Cd, коефіцієнтом концентрації яких перевищено у 20–200 разів; за еколого-гігієнічної оцінкою (відносно гранично допустимих концентрацій) перевищення у 4–8 раз зафіксовано лише для Cu. Зважаючи на те, що основним критерієм для рослин є рухомість металів, що визначає перехід металу у трофічному ланцюгу – «ґрунт-рослина-тварина-людина» важливим є вміст органічної складової, що може сприяти покращенню рухомості, чи навпаки. Так, аналізуючи вміст рухомих форм встановлено, що, при наявності органічної складової у поверхневих відкладах Zn і Cd трансформуються в більш рухомі, а Cu і Pb – в менш рухливі сполуки, що необхідно враховувати при необхідності застосування добрив.

Література

1. Клос В.Р. Еколого-геохімічні дослідження мулових полів стічних вод та їхній вплив на довкілля прилеглих територій (на прикладі ділянки Гнідин) / В.Р. Клос, Е.Я. Жовинський, Г.А. Акінфієв та інш. // Пошукова та екологічна геохімія. – 2013. – № 1(13). – С. 34–43.
2. Саєт Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саєт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
3. ДСТУ EN 13651:2012, Екстрагування поживних розчинних речовин хлоридом кальцію/ДТРА (САТ), (EN 13651:2012, IDT). Київ: Мінекономрозвитку України, 2013. – 14с.
4. Макаренко Н. А. Оцінка придатності ґрунтів для виробництва органічної продукції. Навчально-методичний посібник / Н.А. Макаренко, В.В. Макаренко // [К.: РВЦ НУБіП України](#), 2014. – 49с.

References

1. Klos, V.R., Zhovinsky, E.Ya., Akinfiev G.A.(2013) Ekoloho-heokhimichni doslidzhennya mulovykh poliv stichnykh vod ta yikhniy vplyv na dovkillya prylehlykh terytoriy (na prykladi dilyanky Gnidyn) *Exploration and environmental geochemisntry. Kiev, Ukraine. № 1(13).* – pp. 34–43.
2. Saet, Yu.E. Revych, B.A., Yanyyn, E.P. (1990) Geokhymyya okruzhayushchey sredy. Nedra, Moskow, 335p.
3. Ekstrahuvannya pozhyvnykh rozchynnykh rehovyn khlorodom kal'tsiyu/DTPA (SAT), (EN 13651:2012, IDT) (2013). Kiev, Ukraine.– 14p.
4. Makarenko, N. A., Makarenko V.V. (2014) Otsinka prydatnosti gruntiv dlya vyrobnytstva orhanichnoyi produktsiyi. Navchal'no-metodychnyy posibnyk. RVTS NUBiP. *Kiev, Ukraine.* – 49p.

Клос В.Р., Жовинский Э.Я., Крюченко Н.О., Приходько Н.В

Эколого-геохимическая оценка почв Киевской области, загрязненных илами сточных вод

Представлены результаты изучения геохимического состояния (Ag, Cu, Pb, Cd, Zn, Hg, Ni, содержание органической составляющей) поверхностных отложений (почв) Киевской области, загрязненных илами сточных вод Бортнической станции аэрации (БСА). Определены геохимические ассоциации, проведена эколого-геохимическая оценки почв, рассчитаны геохимические параметры. По суммарному показателю загрязнения установлено, что поверхностные отложения, где, в качестве удобрений использованы илы характеризуются чрезвычайно опасным уровнем загрязнения: иловые поля БСА (396), почвы клумб (280), целинные почвы (236), сельскохозяйственные земли (186). Это свидетельствует о опасности использования илов в качестве органических удобрений для выращивания сельскохозяйственной продукции. Установлено, что при наличии органической составляющей в поверхностных отложениях Zn и Cd трансформируются в более подвижные, а Cu и Pb – в менее подвижные соединения, что необходимо учитывать при необходимости применения удобрений.

Ключевые слова: илы сточных вод, тяжелые металлы, поверхностные отложения, геохимические ассоциации, эколого-геохимическая оценка

Klos V. R, Zhovinsky E.Ya., Kryuchenko N.O., Prihodko N.V.

Ecological and geochemical assessment of soils of the Kiev region contaminated with sewage sludge

The results of the study of the geochemical state (Ag, Cu, Pb, Cd, Zn, Hg, Ni, content of the organic component) of the surface sediments (soils) of the Kiev region contaminated with sewage sludge from the Bortnicheskaya Aeration Station (BSA). Geochemical associations are determined, ecological-geochemical estimates of soils are carried out, geochemical parameters are calculated. According to the total pollution index, it is established that the surface sediments, where the sludges are used as fertilizers, are characterized by an extremely dangerous level of contamination: BSA silt fields (396), flowerbed beds (280), virgin soils (236), agricultural lands (186). This indicates the danger of using silt as an organic fertilizer for growing agricultural products. It is established that in the presence of an organic component in surface sediments, Zn and Cd are transformed into more mobile ones, and Cu and Pb - into less mobile compounds, which must be taken into account when fertilizers are needed.

Keywords: sewage sludge, heavy metals, surface sediments, geochemical associations, ecological and geochemical assessment

Таблиця 1. Норми деяких країн світу на вміст важких металів в осадах стічних вод, призначених для сільськогосподарського використання в якості добрив

Країни світу	Допустимий валовий вміст важких металів в мг/кг сухого осаду								
	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd	Hg	Co	Mo
США	1500	750	500	500	150	50	-	-	-
Франція	3000	1500	200	300	100	15	8	20	-
Німеччина	3000	1200	1200	1200	200	20	20	-	-
Австрія	2000	500	500	500	200	10	10	100	-
Нідерланди	2000	500	500	500	50	10	10	-	-
Швейцарія	3000	1000	1000	1000	200	30	10	20	20
Росія	1750	750	500	250	200	15	7,5	-	-
Україна [1]	577	357	886	152	93	24	1,5	13	2,2
ГДК для с/г ґрунтів [2]	110	32	100	32	110	4	2,1	50	5

Примітка. «-» - не встановлено, с/г – сільськогосподарські

Таблиця 2. Геохімічні показники ступеню забруднення поверхневих відкладів Київської області важкими металами

Хімічний елемент	Геохімічні показники	Місце відбору поверхневих відкладів (номер ділянки)						
		1	2	3	4	5	6	7
Hg	Св	2,91	0,77	0,87	0,6	0,17	0,09	0,17
	Ср	0,32	0,11	0,11	0,13	0,06	0,05	0,06
	Ср(%)	11	14,3	12,6	21,7	35,3	55,6	35,3
	Кс (фон)	97,0	25,7	29,0	20,0	5,7	3,0	5,7
	Кс (ГДК)	1,39	0,37	0,41	0,29	0,08	0,04	0,08
Pb	Св	104	52,4	109,3	140	20,3	11,3	44
	Ср	7,67	5,64	9,94	18,38	1,9	0,52	0,08
	Ср(%)	7,4	10,8	9,1	13,1	9,4	4,6	0,2
	Кс (фон)	6,9	3,5	7,3	9,3	1,4	0,8	2,9
	Кс (ГДК)	3,25	1,64	3,42	4,38	0,63	0,35	1,38
Cd	Св	13,3	7,56	11,4	16,3	0,51	0,83	0,25
	Ср	5,2	2,31	2,78	8,03	0,09	0,09	0,08
	Ср(%)	39,1	30,6	24,4	49,3	17,6	10,8	32
	Кс (фон)	44,3	25,2	38,0	54,3	1,7	2,8	0,8
	Кс (ГДК)	3,33	1,89	2,85	4,08	0,13	0,21	0,06
Ni	Св	61,5	26,9	45,8	42	25,2	10,7	17
	Ср	9,19	4,73	4,13	6,88	1,39	0,5	0,45
	Ср(%)	14,9	17,6	9	16,4	5,5	4,7	2,6
	Кс (фон)	3,1	1,3	2,3	2,1	1,3	0,5	0,9
	Кс (ГДК)	0,56	0,24	0,42	0,38	0,23	0,1	0,15
Cu	Св	406,4	116,4	226,3	280	33,2	20,3	36
	Ср	11,79	7,31	8,35	9,2	1,86	1,25	0,67
	Ср(%)	2,9	6,3	3,7	3,3	5,6	6,2	1,9
	Кс (фон)	20,3	5,8	11,3	14,0	1,7	1,0	1,8
	Кс (ГДК)	12,7	3,6	7,1	8,8	1	0,6	1,1
Zn	Св	434	157,3	303	340	50,8	47,2	40
	Ср	25,87	5,09	7,07	19,41	0,3	0,8	1,14
	Ср(%)	6	3,2	2,3	5,7	0,6	1,7	2,9
	Кс (фон)	7,2	2,6	5,1	5,7	0,8	0,8	0,7
	Кс (ГДК)	3,9	1,4	2,8	3,1	0,5	0,4	0,4
Ag	Св	6,68	3,83	4,48	5,43	0,18	0,26	0,53
	Ср	0,00017	0,00207	0,00048	0,00008	0,00014	0,0001	0,00005
	Ср(%)	0,003	0,054	0,011	0,001	0,078	0,038	0,009
	Кс (фон)	222,7	127,7	149,3	181,0	6,0	8,7	17,7
Сорг., %		0,94	0,22	0,24	0,68	0,17	0,04	0,25
Zc		396	186	236	280	12	12	24

Примітка. Місце відбору поверхневих відкладів: 1- мулові поля БСА, 2 - забруднені мулами сільськогосподарські ґрунти, 3 - забруднені мулами перелогові ґрунти, 4 - забруднені мулами ґрунти клумб, 5 - фонові («чисті») ґрунти, 6 - ґрунти перелогових земель, 7 - фонові землі клумб (суміш торфу і ґрунту)

Таблиця 3. Геохімічні асоціації металів у поверхневих відкладах

Номер ділянки (згідно табл. 2)	Кс (фон)	Кс (ГДК)
1	Ag ₂₂₂ >Hg ₉₇ >Cd ₄₄ >Cu ₂₀ >(Zn-Pb) ₆ >Ni ₃	Cu ₁₂ >(Pb-Cd-Zn) ₃
2	Ag ₁₂₂ >(Hg-Cd) ₂₅ >Cu ₆ >(Zn-Pb) ₃	Cu ₄ >(Pd-Cd) ₂
3	Ag ₁₄₉ >Cd ₃₈ >Hg ₂₉ >Pb ₇ >Zn ₅ >Ni ₂	Cu ₇ >Pb ₄ >(Cd-Zn) ₃
4	Ag ₁₈₁ >Cd ₅₄ >Hg ₂₀ >(Pb-Cu) ₈ >(Ni-Zn) ₃	Cu ₈ >(Pb-Zn) ₃
5	(Ag-Hg) ₆ >(Cd-Cu) ₂	—
6	Ag ₉ >(Cd-Hg) ₃	—
7	Ag ₁₈ >Hg ₆ >Pb ₃ >Cu ₂	—

Примітка. «-» - асоціацій металів не існує

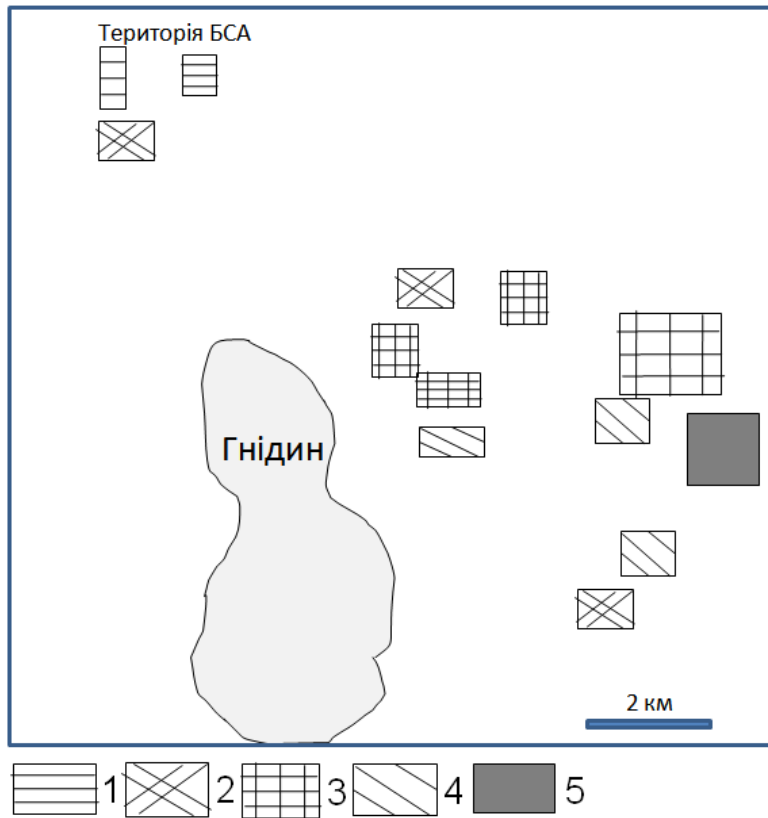


Рис. 1. Схема розташування ділянок досліджень: 1 – клумби (вирощування декоративних рослин), 2 – мулові поля, 3 – землі сільськогосподарського призначення (поля, городи), 4 – перелогові (цілинні) землі (луки, лісосмуги, пустощі), 5 – фонова ділянка

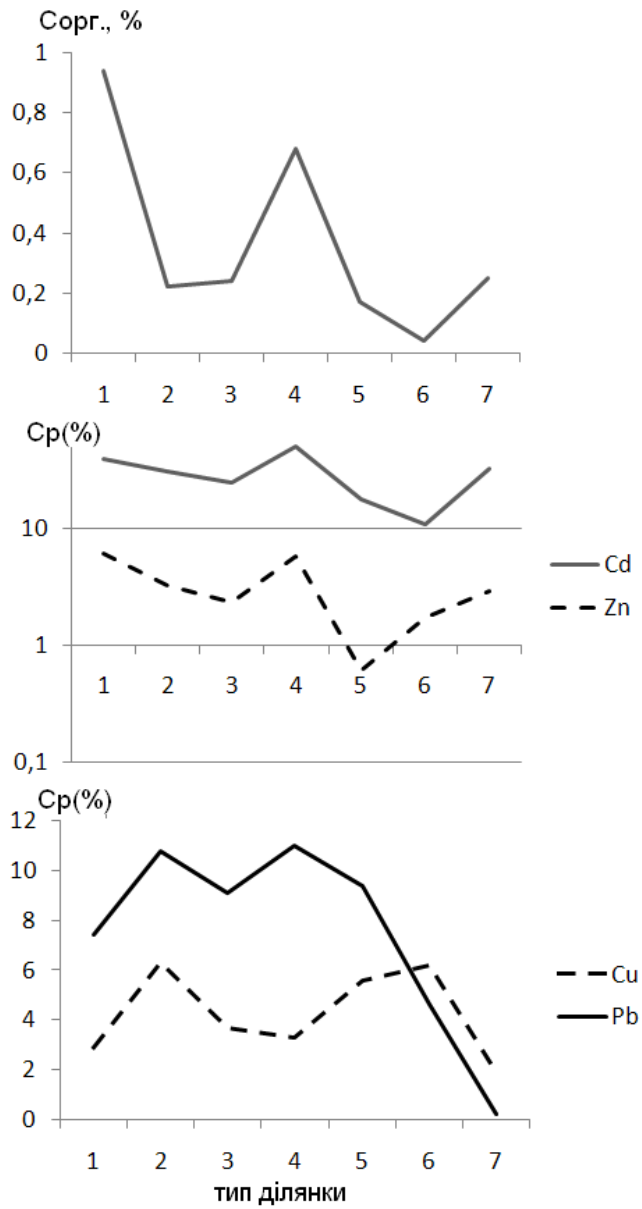


Рис. 2. Графіки вмісту органічної складової поверхневих відкладів (Сорг.) і ступеню рухомості Ср(%) металів. Тип ділянки згідно табл.2.

Умовні до рисунків

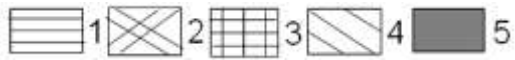


Рис. 1. Схема розташування ділянок досліджень: 1—клумби (вирощування декоративних рослин), 2—мулові поля, 3—землі сільськогосподарського призначення (поля, городи), 4—перелогові (цілинні) землі (луки, лісосмуги, пустощі), 5—фонова ділянка

Рис. 2. Графіки вмісту органічної складової поверхневих відкладів (Сорг.) і ступеню рухомості $S_p(\%)$ металів. Тип ділянки згідно табл.2.