
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 574.3+504.054

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.22>

МІГРАЦІЯ МАНГАНУ В ҐРУНТАХ БІОГЕОЦЕНОЗІВ СТЕПОВОГО ПРИДНІПРОВ'Я (НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Гунько С.О., Володько Д.А.

Дніпровський державний технічний університет
вул. Дніпробудівська, 2, 51918, м. Кам'янське, Дніпропетровська область
gouonko@gmail.com, dasha79078@gmail.com

Результати роботи надали попередню оцінку ґрунтів за вмістом мангану та дали змогу підійти до складання вичерпної характеристики ґрунтів Придніпров'я (на прикладі Дніпропетровської області), встановити попередні масштаби забруднення, пізнати шляхи перетворення ґрунтового покриву області за вмістом Mn, за якими можуть відбуватися їх втрати та виведення з експлуатації; продемонструвати шляхи подальшого дослідження ґрунтів із метою створення заключної характеристики трофічного ланцюга «ґрунт – рослина»; надати прогноз стану марганцю у ґрунтах Придніпров'я. Вивчення вмісту та динаміки просторового варіювання доступних рухомих форм важких металів у ґрунтах дає змогу також правильно оцінити забезпеченість ними сільськогосподарських культур, тварин і людини. Результати їх впливу проявляються, вочевидь, не так явно, як інші види деградації ґрунту або біоти, але важкі метали передаються трофічними ланцюгами з вираженим кумулятивним ефектом, і прояв токсичності може виникати несподівано на їх різних рівнях. Аналіз токсико-екологічних ситуацій, що виникають у районах техногенного впливу, демонструє, що ігнорування елементарних екологічних вимог тягне за собою різкий розлад у функціонуванні природних систем, що призводить до важко виправних, часто незворотних наслідків. Відомо, що ґрунт має значну ємність поглинання щодо елементів забруднювачів, у ґрунті відбуваються процеси трансформації різних сполук, у тому числі й екологічно небезпечних, причому можуть відбуватися як перетворення на малотоксичні, інертні або малодоступні рослинам сполуки, так і підвищення відносної токсичності хімічних сполук за рахунок розчинення в кислому середовищі. Дослідження показали, що кількість Mn у природних ґрунтах, умовно чистих біогеоценозах міститься в таких районах області: 711,34 мг/кг (Нікопольський), 134,85 мг/кг (Синельниківський). Мінімальна кількість мангану (2,21 мг/кг) виявлена в ґрунтового горизонті 0–15 см у Верхньодніпровському районі. Найбільша кількість марганцю виявлена в м. Марганець Нікопольського району в ґрунтового горизонті 0–15 см – 145,52 мг/кг ґрунту, в ґрунтового горизонті 15–50 см – 711,34 мг/кг ґрунту. Аналогічна картина спостерігається в чорноземі агроценозів, де максимальний вміст Mn приходить також на верхній ґрунтового горизонт. Виключення відзначено у ґрунтах агроценозу м. Марганець Нікопольського району, де в горизонті 0–15 см міститься 717,97 мг/кг ґрунту, в горизонті 15–50 см – 731,54 мг/кг ґрунту; у ґрунтах Магдалинівського району у горизонті 0–15 см міститься 281,62 мг/кг ґрунту, в горизонті 15–50 см – 372,25 мг/кг ґрунту. *Ключові слова:* вміст мангану, екологічна характеристика, агроценози, коефіцієнт концентрації, закономірності розподілу, техногенне забруднення.

Migration of manganese in the soils of biocenosis of steppe Pridnieprovie (on the example of Dnipropetrovsk Oblast). Hunko S., Volodko D.

The results of the work permitted to make a preliminary assessment of manganese content in the soils and start to give a comprehensive description of soils of Pridnieprovie (on the example of Dnipropetrovsk Oblast), ascertain former scales of pollution, discover ways of a regional land cover transformation according to its manganese content, which could cause decrease and removal from an exploitation; demonstrate ways for next studies of soil in order to give the conclusive description of soil-plant food chain; prognosticate state of manganese in soils of Pridnieprovie. The research of active forms of heavy metals content and dynamic of spatial variation in soils allow to correctly assess an ensuring of manganese to agricultural plants, animals and humans. The results of their influences apparently do not demonstrate enough obvious as other types of soil or biota degradation. However, heavy metals move in the food chain with obvious accumulative effect, and toxicity can appear unexpectedly at its different levels. Analysis of toxic-ecological situations, which appear in the areas of a negative technogenic influence, demonstrate: an ignoring of elemental ecological requirements causes a rapid disfunction of biocenosis, which leads to hard remediable and even irrevocable consequences. As is known, soils have a considerable capacity of absorption of contaminating substances. Additionally, processes of different chemical compounds transformation take place in soils, including ecologically dangerous ones: as transformations to low-toxicity, inert and inaccessible compounds for a plant consumption, and increasing relative toxicity of chemical compounds by means of dissolution in acidic fluid. Researches demonstrated, that an amount of manganese in natural soils and conditionally pure biogeocenoses can be found in such districts of Dnipropetrovsk Oblast: 711,34 mg/kg (Nikopolskyi raion), 134,85 mg/kg (Synelnykiivskiy raion). A minimal amount of manganese, which is 2,21 mg/kg, was identified in a soil horizon 0–15 sm in Verkhnodniprovskiy raion. The biggest amount of manganese was identified in the city of Marhanets (Nikopolskyi raion) in a soil horizon 0–15 sm – 145,52 mg/kg, and in another soil horizon 15–50 sm – 711,34 mg/kg. Similar dispersal of manganese can be observed in chernozems of agroecosystems, where the maximal amount of manganese occurred in the high layer of soil horizons. Exceptions were found in the soils of Marhanets' agroecosystems (Nikopolskyi raion), where a horizon 0–15 sm contains 717,97 mg/kg, in a horizon 15–50 sm – 731,54 mg/kg, a horizon 0–15 sm in the soils of Mahdalynivkyi raion contains 281,62 mg/kg, in a horizon 15–50 sm – 372,25 mg/kg. *Key words:* content of manganese, ecological description, agroecosystem, concentration factor, regularity of dispersal, technogenic pollution.

Постановка проблеми. У зв'язку із постійним підвищенням надходження важких металів у біосферу та ґрунт у результаті господарської діяльності людини актуальним є питання охорони навколишнього середовища, в тому числі й ґрунту. Охорона ґрунту та навколишнього середовища тісно пов'язана з моніторингом. Моніторинг важких металів у ґрунтах здійснюється як система із трьох взаємодіючих заходів, таких як: спостереження за станом важких металів (надходження, трансформація, виведення), оцінка цього стану та складання прогнозу. Розроблення системи моніторингу викликає необхідність серед численних показників стану важких металів визначити найбільш чутливі, які дають змогу відзначити найбільш слабкі варіації вмісту елементів у ґрунті, утворені антропогенними факторами.

Одним із найбільш чутливих показників стану важких металів у ґрунті є рухомі форми металів. Вирішення проблеми пов'язане із проведенням детальних і взаємопов'язаних (у часі та просторі) досліджень про характер варіювання рухомих форм сполук важких металів у ґрунті. Метою цієї роботи є вивчення вмісту та закономірностей розповсюдження мангану у ґрунтах біогеоценозів середнього степового Придніпров'я (на прикладі Дніпропетровської області).

Актуальність дослідження. Результати роботи надали попередню оцінку ґрунтів за вмістом мангану та дали змогу підійти до складання вичерпної характеристики ґрунтів Придніпров'я (на прикладі Дніпропетровської області), встановити попередні масштаби забруднення, пізнати шляхи перетворення ґрунтового покриву області за вмістом Mn, за якими можуть відбуватись їх втрати та виведення з експлуатації; продемонструвати шляхи подальшого дослідження ґрунтів із метою створення заключної характеристики трофічного ланцюга «ґрунт – рослина»; надати прогноз стану марганцю у ґрунтах Придніпров'я.

Вивчення вмісту та динаміки просторового варіювання доступних рухомих форм важких металів у ґрунтах дає змогу також правильно оцінити забезпеченість ними сільськогосподарських культур, тварин і людини [6].

Накопичений досвід [7, 8] свідчить про те, що важкі метали відносяться до найбільш небезпечних для природного середовища хімічних забруднюючих речовин.

Результати їх впливу проявляються, вочевидь, не так явно, як інші види деградації ґрунту або біоти, але важкі метали передаються трофічними ланцюгами з вираженим кумулятивним ефектом, і прояв токсичності може виникати несподівано на їх різних рівнях [13–17].

Аналіз токсико-екологічних ситуацій, що виникають у районах техногенного впливу, демонструє, що ігнорування елементарних екологічних вимог тягне за собою різкий розлад у функціонуванні природних

систем, що призводить до важко виправних, часто незворотних наслідків. Відомо, що ґрунт має значну ємність поглинання щодо елементів забруднювачів, у ґрунті відбуваються процеси трансформації різних сполук, в тому числі й екологічно небезпечних, причому можуть відбуватися як перетворення в малотоксичні, інертні або малодоступні рослинам сполуки, так і підвищення відносної токсичності хімічних сполук за рахунок розчинення в кислому середовищі [10, 11].

Виклад основного матеріалу. У зв'язку з постійним підвищенням надходження важких металів у біосферу та ґрунт у результаті господарської діяльності людини актуальним є питання охорони навколишнього середовища, в тому числі й ґрунту [3–5]. Одним із найбільш чутливих показників стану важких металів у ґрунті є рухомі форми металів, які надходять до трофічних ланцюгів за допомогою рослин. Саме тому вивчення вмісту мангану в ґрунті та рослинах є актуальним [10, 12].

Манган – елемент 7-ї групи четвертого періоду періодичної системи хімічних елементів Д.І. Менделєєва з атомним номером 25 [1]. У ландшафтах відомі двовалентні, тривалентні та чотиривалентні сполуки мангану, які мають різко відмінні властивості. Манган є доволі розповсюдженим елементом. За даними Виноградова та Ферсмана [2], манган займає у таблиці кларків 11–12 місце. Його кларк у літосфері становить 0,09%.

Відносно багаті за валовим вмістом такі ґрунтоутворюючі породи, як лесовидні суглинки, глини та леси ($6,8 \cdot 10^{-2}\%$) [11].

Манган – елемент інтенсивного біологічного накопичення. До факторів, що впливають на накопичення марганцю у ґрунті, відносять кліматичні умови, механічний склад ґрунту, реакцію ґрунтового розчину, рівень окультуреності та характер рослинності. Не весь манган, що міститься у складі ґрунту, є засвоюваним. Залежно від того, чи входить він до складу нерозчинних або розчинних хімічних сполук, чи знаходиться у рухомій формі, марганець по-різному засвоюється рослинами [10].

Рухомі форми мангану складаються з водорозчинних, розчинних у слабких кислотах і легкорозчинних сполук. Вивчення динаміки рухомого та обмінного мангану у ґрунтах показало [5], що найбільша кількість цих форм спостерігається ранньою весною, коли ґрунт насичений вологою та в ньому розвиваються анаеробні відновні процеси. За підсихання ґрунту наприкінці весни відновні сполуки марганцю знову окислюються, розчинність їх знижується. Влітку вміст у ґрунтах рухомого та обмінного Mn знову підвищується, що пов'язано з мінералізацією органічних залишків, а також із відновними діями деяких вуглеводів та інших органічних сполук, які виникають у результаті діяльності ґрунтової мікрофлори на ті зі сполук марганцю, що в інших умовах не відновлюються.

У роботі досліджувався вміст мангану в умовно чистих степових біогеоценозах і агроценозах Дніпропетровської області. Проби ґрунту було відібрано на території адміністративних районів області.

Досліджувалися чорнозем південний та чорнозем звичайний. У ґрунтах визначалися рухомі форми Mn, екстраговані амонійно-ацетатним буфером, pH = 4,8. Ґрунтовий матеріал підготовлено відповідно до методики визначення мікроелементів у ґрунтах [9]. Результати аналізу наведено в табл. 1.

Відомо [4], що найменша кількість мангану вилучається за допомогою амонійно-ацетатного буферу, pH=4,8. Це саме той манган, який може вивільнити рослина із ґрунту. Дослідження показали, що кількість Mn у природних ґрунтах, умовно чистих біогеоценозах міститься в таких районах області: 711,34 мг/кг (Нікопольський), 134,85 мг/кг (Синельниківський). Мінімальна кількість мангану (2,21 мг/кг) виявлена у ґрунтовому горизонті 0–15 см у Верхньодніпровському районі. Найбільша кількість марганцю виявлена в м. Марганець Нікопольського району у ґрунтовому горизонті 0–15 см – 145,52 мг/кг ґрунту, у ґрунтовому горизонті 15–50 см – 711,34 мг/кг ґрунту.

Аналогічна картина спостерігається в чорноземі агроценозів, де максимальний вміст Mn приходить також на верхній ґрунтовий горизонт. Виключення відзначено у ґрунтах агроценозу м. Марганець Нікопольського району, де в горизонті 0–15 см міститься 717,97 мг/кг ґрунту, в горизонті 15–50 см – 731,54 мг/кг ґрунту;

у ґрунтах Магдалинівського району у горизонті 0–15 см міститься 281,62 мг/кг ґрунту, в горизонті 15–50 см – 372,25 мг/кг ґрунту.

Дослідження вмісту марганцю у ґрунтах конкретних районів показало нижче наведені результати.

Царичанський район. Вміст мангану в чорноземі звичайному варіює в межах 3,3–3,5 мг/кг ґрунту. Вміст мангану в чорноземі звичайному агроценозів знаходиться в межах 1,3–4,8 мг/кг ґрунту. Спостерігається накопичення Mn у верхньому горизонті 0–15 см. Розрахований коефіцієнт співвідношення «ґрунт – порода» $K_{\text{СП}}$ (табл. 1) для ґрунтів степу ($K_{\text{СП}} = 0,9$). Фіксується винесення металу з верхніх ґрунтових горизонтів. У ґрунтах агроценозу ($K_{\text{СП}} = 3,7$) відбувається інтенсивне накопичення у верхньому ґрунтовому горизонті.

Нікопольський район. Вміст мангану в чорноземі південному становить 6,8–12,4 мг/кг ґрунту. Вміст Mn в генетичних горизонтах агроценозів варіює в межах 29,3–30,8 мг/кг ґрунту. $K_{\text{СП}}$ для ґрунтів степу ($K_{\text{СП}} = 1,8$), характеризує акумуляцію металу в кореневонасиченому шарі з максимальним вмістом на глибині 0–15 см. Для ґрунтів агроценозу ($K_{\text{СП}} = 0,9$) спостерігається винесення металу з верхнього ґрунтового горизонту.

м. Марганець Нікопольського району. Вміст Mn в чорноземі звичайному змінюється від 145,0 до 711,3 мг/кг ґрунту, а в агроценозах коливається в межах 324,0–382,6 мг/кг ґрунту. Підраховані $K_{\text{СП}}$ для ґрунтів степу ($K_{\text{СП}} = 0,2$) та для ґрунтів агроценозу ($K_{\text{СП}} = 1,2$) вказують на те, що в степу відбува-

Таблиця 1

Міграція мангану (рухома форма*) у ґрунтах умовно чистих біогеоценозів та агроценозів Дніпропетровської області

Моніторинговий район	Найменування ґрунту	Тип біогеоценозу	Ґрунтовий горизонт, см	Концентрація мангану, мг/кг ґрунту	$K_{\text{СП}}$
Царичанський	чорнозем звичайний	степ	0–15	3,3	0,9
			15–50	3,5	
		агроценоз	0–15	4,8	3,7
			15–50	1,3	
Нікопольський	чорнозем південний	степ	0–15	12,4	1,8
			15–50	6,8	
		агроценоз	0–15	29,3	0,9
			15–50	30,8	
Нікопольський м. Марганець	чорнозем звичайний	степ	0–15	145,5	0,2
			15–50	711,3	
		агроценоз	0–15	382,6	1,2
			15–50	324,0	
Верхньодніпровський	чорнозем звичайний	степ	0–15	2,2	0,3
			15–50	6,7	
		агроценоз	0–15	30,6	0,6
			15–50	54,5	
Кам'янський	чорнозем звичайний	степ	0–15	14,5	2,6
			15–50	5,5	
		агроценоз	0–15	13,9	0,8
			15–50	16,4	

* – екстрагууючий розчин: амонійно-ацетатний буфер, pH = 4,8

ється винесення, а в агроценозі – акумуляція металу у верхніх ґрунтових горизонтах 15–50 см.

Верхньодніпровський район. Вміст марганцю в чорноземі звичайному коливається в межах 2,2–6,7 мг/кг ґрунту. Вміст Mn в генетичних горизонтах агроценозів варіює від 30,6 до 54,5 мг/кг ґрунту. $K_{\text{СП}}$ для ґрунтів степу ($K_{\text{СП}} = 0,3$), спостерігається винесення металу в ґрунтовому горизонті 15–50 см у ґрунтах різотравно-кострицево-ковилевого степу. У ґрунтах агроценозу ($K_{\text{СП}} = 0,6$) так само відбувається винесення марганцю з верхнього ґрунтового горизонту.

Кам'янський район. Вміст марганцю в чорноземі звичайному коливається від 5,5 до 14,5 мг/кг ґрунту. Вміст Mn в генетичних горизонтах агроценозів варіює в межах 13,9–19,7 мг/кг ґрунту. $K_{\text{СП}}$ для ґрунтів степу ($K_{\text{СП}} = 2,6$), у ґрунтах степу відбувається значне накопичення металу у верхньому гумусовому горизонті 0–15 см. У ґрунтах агроценозу ($K_{\text{СП}} = 0,8$),

навпаки, спостерігається винесення марганцю з верхніх ґрунтових горизонтів.

Головні висновки. Визначений вміст марганцю у ґрунтах рухомої форми умовно чистих біогеоценозів і агроценозів 4 адміністративних районів Дніпропетровської області. Вміст Mn у ґрунтах різотравно-кострицево-ковилевого степу варіює в межах 2,2–711,3 мг/кг ґрунту у Верхньодніпровському та Нікопольському (м. Марганець) районах відповідно. Концентрація марганцю у ґрунтах агроценозів варіює в межах 1,3–382,6 мг/кг ґрунту у Царичанському та Нікопольському (м. Марганець) районах відповідно. Встановлено, що чорнозем звичайний відрізняється більш високим вмістом марганцю порівняно з чорноземом південним. Доведене інтенсивне накопичення марганцю у верхньому ґрунтовому горизонті Царичанського ($K_{\text{СП}} = 3,7$), Нікопольського ($K_{\text{СП}} = 1,8$) та Кам'янського ($K_{\text{СП}} = 2,6$) районів.

Література

1. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тишкова Н.В. Геохимия окружающей среды. Москва: Недра, 1976. 248 с.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Наука, 1982. 322 с.
3. Гунько С.О. Закономірності розподілу кадмію в едафотопах урбанізованих територій м. Кам'янське. Автореф. дис. канд. біол. наук, Дніпро, 2021. 25с.
4. http://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/dissertations/D08.051.04/autoreferat_6046399d5c7c2.pdf
5. Гунько С.О. Закономірності розподілу кадмію в едафотопах урбанізованих територій м. Кам'янське. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 «Екологія». – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, 2021.
6. http://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/dissertations/D08.051.04/dissertation_606016a359ebb.pdf
7. Гунько С.О., Володько Д.А. Дослідження розподілу марганцю в ґрунтах Дніпропетровської області. *Perspectives of development of science and practice. Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference*. Prague, Czech Republic. 2021. 55–56. DOI: 10.46299/ISG.2021.II.XIII
8. Дмитрук Ю.М. До питання методики геохімічної характеристики ґрунтового покриву екосистем. *Агроекологічний журнал*. 2004. № 4. С. 56–63.
9. Дмитрук Ю.М. Еколого-геохімічний аналіз міграції і вмісту важких металів у ґрунтах елементарних ландшафтів. *Ґрунтознавство*. 2004. № 5(3–4). С. 26–42.
10. Дмитрук Ю.М. Біогеохімічна класифікація біогеоценозів (педоцентричний підхід). *Екологія та ноосферологія*. 2006. № 17(1–2). С. 86–90.
11. Костишин С.С., Руденко С.С., Морозова Т.В. Основи загальної екології: практичний курс. Чернівці: Книги, 2008. 238 с.
12. Цветкова Н.М., Тагунова Е.О. Геохімічні бар'єри в розподілі марганцю в едафотопах Присамар'я Дніпровського. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*. 2015. 23(1). С. 3–9.
13. Чмиленко Ф.А., Смитюк Н.М. О содержании подвижных форм тяжелых металлов в почве г. Днепропетровска. *Вісник ДНУ. Біологія. Екологія*. 2001. № 9(2). С. 128–131.
14. Gunko S.O., Tsvetkova N.M., Neposhivaylenko N.O. The interpolation of cadmium in soils urbanized territory of steppe Dnieper region using geoinformation modeling methods. *Biosystems Diversity*. 2018. 26(2). 145–153. doi: 10.15421/011823
15. Huang L., Liua F., Tan W., Hu H., Wang M.K.. Geochemical characteristics of selected elements in ironmanganese cutans and matrices of Alfisols in central China. *J. Geochem. Explor.* 2009. 103(1). 30–36.
16. Lin C., Wang J., Liu S., He M., Liu X. Geochemical baseline and distribution of cobalt, manganese, and vanadium in the Liao River Watershed sediments of China. *Geosciences Journal*. 2013. 17(4). 455–464.
17. Mundus S., Lombi E., Holm P.E., Zhang H., Husted S. Assessing the plant availability of manganese in soils using Diffusive Gradients in Thin films (DGT). *Geoderma*. 2012. 183–184, 92–99.
18. Obrador A., Alvarez J.M., Lopez-Valdivia L.M., Gonzalez D., Novillo J., Rico M.I. Relationships of soil properties with Mn and Zn distribution in acidic soils and their uptake by a barley crop. *Geoderma*. 2007. 137. 432–443.
19. Peiyue L., Qian H., Howard K.W.F., Wu J., Lyu X. Anthropogenic pollution and variability of manganese in alluvial sediments of the Yellow River, Ningxia, northwest China. *Environ. Monit. Assess.* 2014. 186(3). 1385–1398.