

І. ФІЗИЧНА ГЕОГРАФІЯ, ГЕОЕКОЛОГІЯ ТА РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 502.2:614.84:502.17(043.3)

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7852644>

Буц Ю.В., Крайнюк О.В., Чжао Ч.

РЕГІОНАЛЬНИЙ ЕКОЛОГО-ГЕОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАЦІЇ КАДМІЮ НА АГРОЛАНДШАФТИ СУМЩИНИ

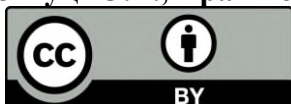
Розглянуто механізм накопичення сполук Cd та міграцію його рухомих форм у ґрунті. Проведено виклад методики відбору проб ґрунту, рослин, а також методики морфометричних досліджень. Проаналізовано хід визначення вмісту кадмію у рослинах та ґрунті. Аналіз експерименту свідчить про те, що високі концентрації солей Cd істотно інгібують все ростові процеси. Це проявляється в гальмуванні росту, зміні кольору, зменшенні кількості листя, виникненні хлорозів і некрозів, що призводить до зниження накопичення фітомаси. При збільшенні кількості Cd спостерігаємо пригнічення рослин і різке зменшення їх висоти. За отриманими даними наведено лінію тренду. Величина достовірності апроксимації близька до одиниці і становить $R^2=0,99$, що говорить про тісний зв'язок між збільшенням концентрації кадмію у ґрунті та зменшенням висоти рослин ячменю ярового.

Ключові слова: агроландшафт, важкі метали, кадмій, ячмінь яровий.

Постановка проблеми. Важкі метали (ВМ) належать до небезпечних політантів і тому дослідження їх поведінки у ландшафтах є актуальною еколого-географічною проблемою. Кадмій (Cd) знаходиться у групі вагомих забруднювачів компонентів довкілля, у тому числі ґрунтів і рослин. Небезпека для живих організмів обумовлена тим, що цей елемент має тенденцію до біоконцентрації, тобто акумулювання їх в навколишньому природному середовищі. Довготривалий вплив кадмію пов'язаний для здоров'я людини з дисфункцією нирок, може призвести до хвороби легень, дефектів рухового апарату, серцево-судинних захворювань.

Доступність Cd рослинам значною мірою залежить від того, наскільки вони міцно зв'язані в ґрунтах. Поведінці цього металу у ґрунті присвячена значна кількість наукових публікацій, в яких ключове питання про механізми зв'язування Cd (II) лишається дискусійним. Загальновідомо, що внесення вапна і добрив, насамперед органічної природи, значною мірою може змінити поведінку хімічних елементів у ґрунті і, отже, їх доступність рослинам.

© Буц Ю.В., Крайнюк О.В., Чжао Ч., 2023.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
Article Info: Received: December 22, 2022;
Final revision: March 29, 2023; Accepted: April 1, 2023.

Вміст в ґрунті ВМ і пов'язана з цим міграція їх в рослини – складний процес, на який впливає безліч чинників. Щоб зрозуміти механізм впливу кожного з них, слід розглядати вплив окремих чинників на фітотоксичну дію важких металів в умовах експерименту.

Висока фітотоксичність Cd пояснюється також його близькістю за хімічними властивостями до цинку. Адже кадмій може заміщати цинк у біохімічних процесах, порушуючи роботу значної кількості ферментів. Фітотоксичність Cd проявляється в інгібуванні фотосинтезу, зміні проникності клітинних мембран. Кадмій негативно впливає на ріст і розвиток рослин.

Метою представленої публікації була еколого-географічна оцінка впливу концентрації кадмію на агроландшафти Сумщини.

При виконанні дослідження вирішувалися наступні завдання:

- проаналізувати еколого-географічну оцінку джерел надходження кадмію у агроландшафти та поведінку Cd у ґрунті, особливості прояву фітотоксичності за умов забруднення ґрунту кадмієм;

- провести аналіз експериментальних даних та довести вплив різних концентрацій рухомих та потенційно рухомих форм Cd у ґрунті та фітомасі на висоту та накопичення фітомаси рослин ячменю ярового.

Об'єкт дослідження – система «ґрунт-рослина» за умов імпаکتного забруднення Cd. Предметом дослідження була еколого-географічна оцінка фітотоксичності Cd по відношенню до злакових культур (на прикладі ячменю ярового).

Методика досліджень. Для дослідження означених завдань питань проведено польові дослідження агроландшафту в межах земель Краснопільської територіальної громади Сумської області. Досліджуваний ґрунт: світло-сірий лісовий ґрунт на лесовидних суглинках в умовах вододілу.

Під час експерименту вивчали в сівозміні на фоні мінеральних органічних добрив акумуляцію Pb і Cd в ґрунті, продуктивної частини рослин і їх вплив на якість врожаю.

Для відбору змішаних ґрунтових зразків застосовують метод «конверта». Він полягає в тому, що на кожній з ділянок по діагоналі або по «конверту» (чотири точки по кутах і одна в центрі) в його п'яти точках відбирають проби. Точкові проби (проба певного обсягу, взята з ґрунтового горизонту, шару, типова для даного горизонту або шару) відбирають ножем або шпателем або ґрунтовим буром. Прикопки ґрунтова – ґрунтовий розріз невеликої глибини (50-75 см), що розкриває тільки верхні горизонти ґрунтового профілю. Ґрунт ділять до тих пір, поки не залишиться близько 300 г і просівають його через сито діаметром 1 мм. Після чого ґрунт зсипають в чисту ємність з притертою

пробкою і нумерують її. З отриманого зразка беруть навішування для аналізу [1, 2].

В дослідженнях було використано методику визначення кислоторозчинних форм Cd у ґрунтових витяжках методом атомної абсорбції.

Результати дослідження. Сполуки Cd потрапляють до агроландшафтів з декількох джерел. По-перше, це атмосферне надходження. У промислово-розвинених районах в середньому на рік випадає 0,2...9 кг/км² Cd. Так як Cd міститься в дизельному паливі і звільнюється при його спалюванні, концентрація його в повітрі великих міст може досягати 15 мг/м³ [6, 7, 8].

Друге джерело надходження – міські стічні води, а також стічні води підприємств з видобутку руд кольорових металів [5]. Значна кількість Cd надходить у ґрунт разом зі стічними водами промислових підприємств.

Третє джерело – це мінеральні добрива. Вміст Cd у суперфосфаті 720 мкг в 100 грамах, фосфаті калію – 471 мкг, селітрі – до 66 мкг. Природно, що при внесенні у ґрунт значної кількості добрив, підвищується ризик потрапляння Cd в організм тварин через рослини [3, 6]. Таким чином, окрім промисловості, важливим джерелом забруднення навколишнього природного середовища Cd є сільськогосподарська діяльність, зокрема агротехнічні заходи, пов'язані з внесенням мінеральних добрив. Вміст Cd у фосфорних добривах коливається від 0,3 до 179 мг/кг сухої маси, а щорічне його надходження в ґрунт становить 10 г/га [3].

Оскільки Cd в добривах знаходиться в основному в рухомому стані, він легкодоступний для сільськогосподарських культур. З фосфорними добривами протягом року в ґрунт вноситься кадмію в 2...3 рази більше, ніж споживається рослинами, тому щорічний приріст Cd у ґрунтах за рахунок застосування фосфорних добрив складає 0,15%.

Таким чином, рослини до 70% кадмію поглинають з ґрунту і лише 30% з повітря, отже, основне джерело кадмієвої інтоксикації живих організмів – рослинна продукція [3, 4].

В системі циклічного масообміну ВМ особливе місце займає ґрунт, в якому сходяться фронтальні міграційні потоки. З одного боку, у ґрунті мобілізуються хімічні елементи, що залучаються потім в різні міграційні цикли, з іншого – перерозподіляються маси хімічних сполук, що надходять з ґрунтотвірних порід, з опадом рослинності й осадження з атмосферного повітря.

Визначальний чинник, що зумовлює вміст Cd в ґрунтах – це хімічний склад материнських порід. Середній вміст Cd в ґрунтах, за даними [3, 4], знаходяться в межах – 0,07 і 1,1 мг/кг. При цьому фонові значення Cd у ґрунтах, напевно, не перевищують 0,5 мг/кг, і більш високі значення свідчать про

антропогенний внесок у вміст цього ВМ у верхньому горизонті ґрунтів. У ґрунтах легкого механічного складу і збіднених гумусом, процеси міграції Cd посилюються.

Кадмій схильний до активного біоконцентрування, що призводить у досить короткий час до його акумуляції в надлишкових біодоступних концентраціях. Тому Cd, в порівнянні з іншими ВМ, є найбільш сильним токсикантом ґрунтів ($Cd > Ni > Cu > Zn$) [5].

Орієнтовно допустимі концентрації (ОДК) валового вмісту ВМ у ґрунтах з різними фізико-хімічними властивостями (валовий вміст) для сполук Cd становить:

- а) піщані та супіщані – 0,5 мг/кг
- б) кислі (суглинкові й глинисті), $pH < 5,5$ – 1 мг/кг
- в) нейтральні (суглинкові та глинисті), $pH > 5,5$ – 2 мг/кг

Розчинні форми Cd у ґрунті завжди легко доступні рослинам. Помітна частка Cd поглинається корінням пасивно, але поглинатися може також і метаболічним шляхом [3, 4]. Посилення обробки Cd поступово знижує його частку, що мігрує в поверхневі частини молодого листя. При цьому Cd локалізується головним чином в коренях, і, в менших кількостях, – у вузлах стебел, черешках і головних жилках листя.

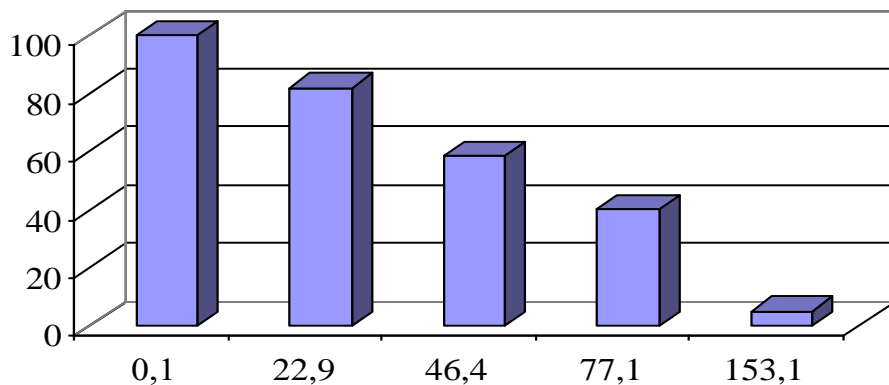
Таблиця 1

Вплив різних концентрацій кадмію у ґрунті на висоту рослин ячменю ярового

Кількість внесеного кадмію у ґрунт, мг/кг	Вміст металу у ґрунті (екстрагент – 1М НСІ), $mg\ kg^{-1}$	Концентрація у загальній фітомасі, мг/кг сухої речовини	Висота рослин, см	
			Висота, см	% до контрольного варіанта
Контроль	0,10±0,05	0,005±0,001	61,9±0,6	100
45	22,9±2,5	15,6±2,0	50,7±4,9	81,9
90	46,4±4,0	29,3±2,5	36,1±3,5	58,3
150	77,1±5,6	50±5,0	24,97±2,0	40,3
300	153,1±9,6	87,1±7,2	3,2±0,5	5,2

Наведені результати експериментальних досліджень свідчать, що висока концентрація сполук Cd викликає різке пригнічення розвитку рослин, що призвело до формування вкрай низької продуктивності продукції або повної їх загибелі рослин (табл. 1). Найменший вплив на висоту дослідних рослин відображено у варіанті з додаванням сполук кадмію у ґрунт у найменшій кількості 45 мг/кг. Висота рослин у даному випадку 50,7 см, тобто майже 82% від контрольного зразка. При внесенні у ґрунт 90 мг/кг сполук Cd висота рослин всього 58,3% від контрольного зразка. А при внесенні Cd 300 мг/кг спостерігається найбільше пригнічення рослин і їх висота становить лише 3,2 см або 5,2% від контрольного зразку (рис. 1).

Висота,% до контрольного зразку



Вміст Cd у ґрунті, мг/кг

Рис. 1. Висота рослин ячменю ярового по відношенню до контрольного зразку, %

За даними експерименту побудовано залежність висоти рослин ячменю ярового від концентрації сполук Cd у ґрунті (рис. 2).

Висота рослин, см

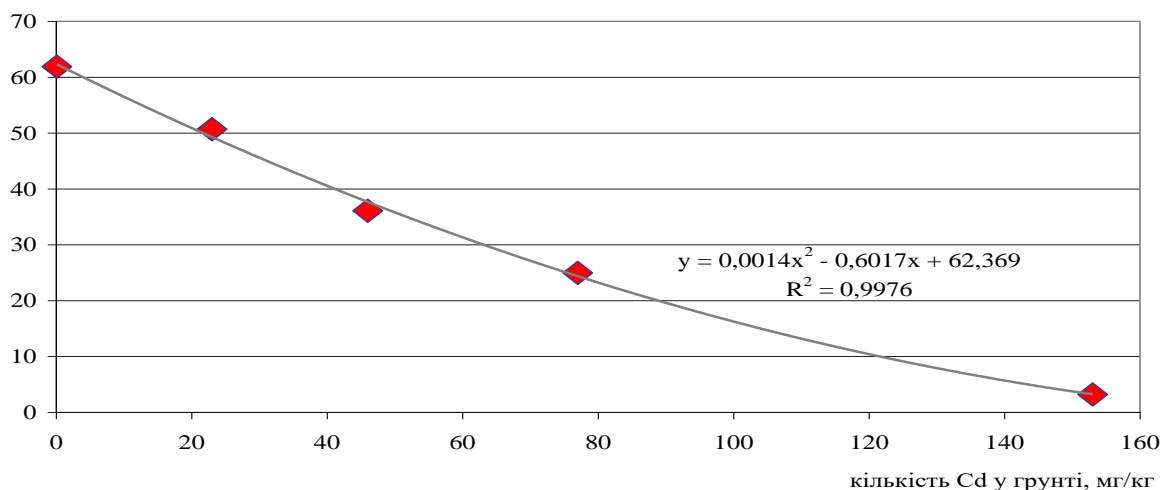


Рис. 2. Залежність висоти рослини від концентрації Cd²⁺ у ґрунті

При збільшенні кількості Cd спостерігаємо пригнічення рослин і різке зменшення їх висоти. За отриманими даними наведено лінію тренду, рівняння якої додано (рис. 2). Величина достовірності апроксимації близька до одиниці і становить $R^2 = 0,99$, що говорить про тісний зв'язок між збільшенням концентрації кадмію у ґрунті та зменшенням висоти рослин ячменю ярового.

Висновки. З'ясовано механізм накопичення сполук Cd та міграцію його рухомих форм у ґрунті. Проведено виклад методики відбору проб ґрунту, рослин, а також методики морфометричних досліджень. Проаналізовано хід визначення вмісту кадмію у рослинах та ґрунті.

Аналіз експерименту свідчить про те, що високі концентрації солей Cd істотно інгібують все ростові процеси. Це проявляється в гальмуванні росту, зміні кольору, зменшенні кількості листя, виникненні хлорозів і некрозів, що призводить до зниження накопичення фітомаси.

При збільшенні кількості Cd спостерігаємо пригнічення рослин і різке зменшення їх висоти. За отриманими даними наведено лінію тренду. Величина достовірності апроксимації близька до одиниці і становить $R^2=0,99$, що говорить про тісний зв'язок між збільшенням концентрації кадмію у ґрунті та зменшенням висоти рослин ячменю ярового.

Література

1. Гриценко, А.В. К вопросу о методологии исследований восстановления геосистем после чрезвычайных ситуаций / А. В. Гриценко, Ю. В. Буц. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2011. Вип. XXXIII. С. 3-11.
2. ДСТУ ISO 11464:2007 Якість ґрунту. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT) (на заміну ДСТУ ISO 11464:2001)
3. Ильин, Б.В. Распределение свинца и кадмия в растениях пшеницы, произрастающей на загрязнённых этими металлами почвах / Ильин Б.В., Степанова М.Д. *Агрехимия*. 1979. №5. С. 114-119.
4. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.; Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
5. Фортецькью, Дж. Геохимия окружающей среды. М.: Прогресс, 1985. 360 с.
6. Asotskyi, V., Buts, Y., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R. Post-pyrogenic changes in the properties of grey forest podzolic soils of ecogeosystems of pine forests under conditions of anthropogenic loading. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2018. 27(2), 175-183. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/111843>
7. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R. Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2018. 27(1), 43-50. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/111829>
8. Dumontet, S., Levesque, M., Mather, S.P. Limited downward migration of pollutant metals (Cu, Zn, Ni and Pb) in acidis virginpedt soils near smelter. *Water, Air and Soil Pollut Pollut*. 1990. Vol. 49, 3-4; p. 329-342.

Summary

Buts Y. V., Krayniuk O. V., Zhao C. The regional ecological and geographical analysis of the Cadmium Concentration Influence on the Agrolandscapes of Sumy Region.

The mechanism of accumulation of Cd compounds and the migration of its mobile forms in the soil are considered. The method of sampling soil and plants, as well as the method of morphometric research, was explained. The process of determining the content of cadmium in plants and soil was analyzed. The analysis of the experiment shows that high concentrations of Cd salts significantly inhibit all growth processes. This is manifested in growth retardation, color change, reduction in the number of leaves, occurrence of chlorosis and necrosis, which leads to a decrease in the accumulation of phytomass. With an increase in the amount of Cd, we observe suppression of plants and a sharp decrease in their height. A trend line is given based on the received data. The value of the reliability of the approximation is close to one and is $R^2=0.99$, which indicates a close relationship between the increase in the concentration of cadmium in the soil and the decrease in the height of spring barley plants.

Keywords: agricultural landscape, heavy metals, cadmium, spring barley.