

Using the bioindication method for determining air pollution by heavy metals

Nataliya Kryuchenko¹, Edward Zhovinsky¹, Petro Paparyga²

¹ M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine);

² Carpathian Biosphere Reserve, Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (Rakhiv, Ukraine)

article info

key words

bioindicator plants, heavy metals, atmospheric air, industrial enterprises, contamination index.

correspondence to

Nataliya Kryuchenko;
M. P. Semenenko Institute of
Geochemistry, Mineralogy and
Ore Formation, NAS of Ukraine,
34 Akademika Palladina Avenue,
Kyiv, 03142 Ukraine, Email:
nataliya.kryuchenko@gmail.com;
orcid: 0000-0001-8774-9089

article history

Submitted: 27.05.2022. Revised:
22.06.2022. Accepted: 30.06.2022

cite as

Kryuchenko, N., E. Zhovinsky,
P. Paparyga. 2022. Using the
bioindication method for
determining air pollution by heavy
metals. GEO&BIO, 22: 144–149.
[In Ukrainian, with English
summary]

abstract

The results of studies of chemical pollution (Pb, Zn) of perennial grasses — *Elymus repens* L., *Artemisia absinthium* L., and *Hypericum perforatum* L. — on background plots and within the areas of impact of industrial enterprises in Kropyvnytskyi (Ukraine) are presented. It is noted that chemical pollution is the most dangerous. The activity of enterprises is considered, in the result of which heavy metals enter the air. Testing of plants (stems and leaves) was carried out at a distance of 10–100 m from the enterprises. The content of heavy metals in the aboveground part of plants was analysed by atomic absorption spectrophotometer in the laboratory of the Department of Exploratory and Ecological Geochemistry, IGMR NAS of Ukraine. The comparison of sorption properties of different plants in the same phases of development allowed plants with bioindication capabilities to be identified. The results of the analysis showed that plants most effectively accumulate the maximum amount of heavy metals from the atmospheric air at the end of the summer dormancy phase (second half of August). At this time the plant requires the minimum amount of nutrients that it takes from the soil. Stems and leaves of perennial grasses actively accumulate aerosols and fine dust on their surface due to plant secretions with the formation of a mucous film that actively adsorbs heavy metal ions. The background, minimum, and maximum content of heavy metals in plants is determined. Comparing the content of heavy metals in plant samples in the background and study plots, it was found that *E. repens* near industrial enterprises is the most effective bioindicator of air pollution. In order to determine the level of atmospheric air pollution using bioindication methods, the index of plant contamination (Sp) was proposed, which is the ratio of concentration coefficient of heavy metals and their amount. An assessment scale for atmospheric air pollution with heavy metals has been developed based on the contamination index (Sp) of bioindicator plants: the degree of pollution is 1–3 — weak, 3–6 — medium, 6–9 — strong, more than 9 — very strong. The proposed coefficients allow for conducting a situational assessment of atmospheric air pollution with heavy metals using bioindication methods.

Використання біоіндикаційного методу для оцінки забруднення атмосферного повітря важкими металами

Наталія Крюченко, Едуард Жовинський, Петро Папарига

Резюме. Наведено результати досліджень хімічного забруднення (Pb, Zn) багаторічних трав — *Elymus repens* L., *Artemisia absinthium* L., *Hypericum perforatum* L.) на фонових ділянках та в межах впливу промислових підприємств м. Кропивницький (Україна). Зазначено, що хімічне забруднення є найнебезпечнішим. Розглянуто діяльність підприємств — внаслідок чого відбувається надходження важких металів у повітря. Опробування рослин (стебла та листки) проведено на відстані 10–100 м від підприємств. Вміст важких металів у надземній частині рослин визначався на атомно-абсорбційному спектрофотометрі у лабораторії відділу пошукової та екологічної геохімії ІГМР НАН України. Порівняння сорбційних властивостей різних рослин в однакових фазах розвитку дозволило виявляти рослини з біоіндикаційними можливостями. Результати аналізу показали, що найбільш ефективно рослини накопичують максимальну кількість важких металів з атмосферного повітря в кінці фази літнього спокою (друга половина серпня), тому що в цей час рослині потрібна мінімальна кількість поживних речовин, яку вона бере з ґрунту). Стебла та листки багаторічних трав на своїй поверхні активно акумулюють аерозолі і дрібний пил за рахунок рослинних виділень з утворенням слизової плівки, яка активно адсорбує іони важких металів. Визначено фоновий, мінімальний та максимальний вміст важких металів у рослинах. Порівнюючи вміст важких металів у зразках рослин на фоновій ділянці та ділянках, біля промислових підприємств встановлено, що *E. repens* є найбільш ефективним біоіндикатором забруднення атмосферного повітря. Для визначення ступеню забруднення атмосфери біоіндикаційними методами запропоновано застосовувати показник забруднення рослин (S_p), який дорівнює відношенню коефіцієнта концентрацій важких металів до їх кількості. Розроблена оцінювальна шкала забруднення атмосферного повітря важкими металами за показником забруднення (S_p) рослин-біоіндикаторів: ступінь забруднення 1–3 — слаба, 3–6 — середня, 6–9 — сильна, більше 9 — дуже сильна. Запропоновані коефіцієнти дозволяють проводити ситуативну оцінку забруднення атмосферного повітря важкими металами біоіндикаційними методами.

Ключові слова: рослини-біоіндикатори, важкі метали, атмосферне повітря, промислові підприємства, показник забруднення.

Адреса для зв'язку: Н. Крюченко, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семениченка НАН України, проспект Акад. Палладіна, 34, м. Київ, 03142 Україна; Email: nataliya.kryuchenko@gmail.com; orcid: 0000-0001-8774-9089

Вступ

Відомо, що рослини є індикаторами забруднення природного середовища. Існують різні типи забруднення — фізичне (зміна фізичних, температурно-енергетичних, хвильових і радіаційних параметрів зовнішнього середовища), хімічне (збільшення кількості хімічних компонентів певного середовища) та біологічне (проникнення в екосистеми не притаманних їй рослин, тварин і мікроорганізмів). Забруднення в атмосферу надходять як від природних джерел (пилوک рослин, лісових пожеж, пилу), так і від антропогенних [Surkova 2002]. Але, основний внесок у забруднення атмосфери вносять антропогенні джерела — промислові підприємства. Саме хімічне забруднення — найнебезпечніше, яке отруює навколишнє середовище токсикантами (аерозолі, хімічні речовини, важкі метали, пестициди, та ін.). Аналіз ґрунтів, вод, повітря показали, що життя та здоров'я біоти залежать від вмісту хімічних елементів у навколишньому середовищі [Aleksenko 2000].

Кращими індикаторами забруднення атмосферного повітря є рослини, тому що вони реагують на концентрації більшості шкідливих домішок у повітрі, які у людей та тварин не викликають отруєння. Рослини реагують на концентрацію забруднюючих речовин, тривалість їх впливу, а також відносна сприйнятливість до забруднювачів залежить від їхнього виду та стадії фізіологічного розвитку [Didukh 2012]. Тому, важливим є вирішення питання індикації хімічного забруднення атмосферного повітря за допомогою рослин, які є чутливими до певного забруднювача.

Мета цього дослідження — встановити рослини-біоіндикатори забруднення атмосферного повітря важкими металами (Pb, Zn) та розробити показник оцінки забруднення.

Аналіз досліджень

Про актуальність вивчення зазначеної проблематики свідчить низка публікацій як в Україні [Grodzinsky *et al.* 1973; Barbarych 1977; Grodzynska 2016 та ін.], так і за кордоном [Li *et al.* 2014; Li *et al.* 2018; Hazrat *et al.* 2019 та ін.]. Дослідження з визначення мікроелементів у ґрунтах та рослинності набули особливого значення, починаючи з 1980 років [Ilin 1985; Kabata-Pendias *et al.* 1989]. У зв'язку з розвитком промисловості питання індикації забруднення навколишнього середовища постають на перший план. Тут можна виокремити дослідження з фітореMediaції забруднених ґрунтів [Palutoglu *et al.* 2018], встановлення фонового вмісту мікроелементів у ґрунтах та рослинності на заповідних територіях [Zhovynsky *et al.* 2008], та багато інших.

Однак, на сьогодні, відсутня класифікація рослин, яка б дала можливість визначити індикаторну рослину щодо забруднення на певний хімічний елемент.

Способи, які пов'язані з біотестуванням, не дозволяють однозначно оцінити ступінь забруднення довкілля, і тому важко отримати достовірну інформацію щодо екологічного стану територій. Так, гранично допустимі концентрації важких металів встановлені лише для ґрунтів, питних вод, атмосферного повітря та продуктів харчування і не встановлені для дикорослих рослин [Aleksenko 2000]. Саме тому для оцінок ситуативного забруднення атмосферного повітря важкими металами доцільно використовувати, як порівняльні значення, їх вміст на фонових ділянках [Kryuchenko *et al.* 2002].

Об'єкти й методи досліджень

Об'єктами досліджень слугували багаторічні трави — пирій повзучий (*Elymus repens*), полин гіркий (*Artemisia absinthium*), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum*), які характеризуються подібними сорбційними властивостями до накопичення важких металів у надземній частині.

Для визначення рослини-біоіндикатора атмосферного повітря обрано міську агломерацію м. Кропивницький, де проведено польові дослідження у літній період 2021 р.

Обрано 4 ділянки досліджень — ділянка 1 розташована у межах умовно природних площ (найменший вплив техногенних змін) на периферії міської агломерації Кропивницького (західна частина); ділянка 2 — 10–100 м на схід від комунального підприємства Теплоенергетик (Кропивницька ТЕЦ) — КП «Теплоенергетик» КМР»; ділянка 3 — 10–100 м на схід від акціонерного товариства «Ельворті» (АТ «Ельворті»); ділянка 4 — 10–100 м на схід від Товариства з обмеженою відповідальністю «Кропивницький ремонтно-механічний завод ім. В. К. Таратути» (ТОВ «КРМЗ ім. В. К. Таратути») (рис. 1).

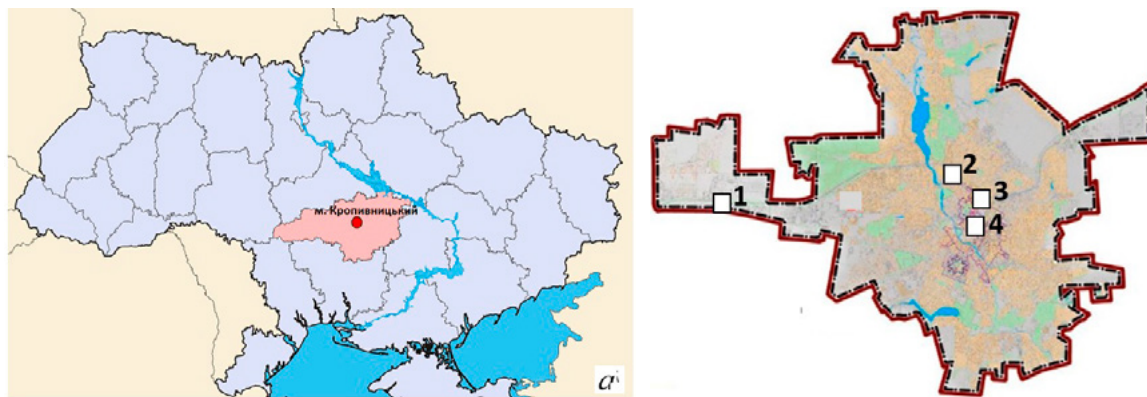


Рис. 1. Місцезнаходження ділянок досліджень (місто Кропивницький): (1) фонові ділянка; (2) КП «Теплоенергетик» КМР; (3) АТ «Ельворті»; (4) ТОВ «КРМЗ ім. В. К. Таратути».

Fig 1. Location of research sites (Kropyvnytskyi City): (1) background plot; (2) the company 'Teploenergetyk KMR'; (3) the company 'Elworthy'; (4) the company 'V. K. Taratutu KRMZ.'



Рис. 2. *Elymus repens* на фоновій ділянці (підготовка до аналізу) (фото авторів).

Fig. 2. *Elymus repens* in the background plot (being prepared for analysis) (photo by the authors).

коли накопичення важких металів з атмосферного повітря максимальне [Krasnov 2020].

Відібрані проби були висушені до повітряно-сухого стану (рис. 2), спопелялись у муфельних печах в фарфорових тиглях при вільному доступі кисню і температурі 400 °С. Отриманий попіл дотирався у фарфоровій ступці та пересипався в паперові пакети. Визначення вмісту Zn, Pb проводилось на атомно-абсорбційному спектрофотометрі КАС 15М у лабораторії відділу пошукової та екологічної геохімії ІГМР НАН України.

Одержаний для кожної проби рослини вміст важких металів (K_c) на фонових територіях (C_{ϕ}) та техногенно-забруднених (C_i) використовувався для розрахунку коефіцієнту концентрації важких металів за формулою: $K_c = C_i / C_{\phi}$. [Aleksenko 2000].

Результати і обговорення

Для визначення забруднення атмосферного повітря важливою складовою є саме час опробування рослин. Багаторічні трави, у процесі сезонного розвитку, послідовно проходять наступні фенологічні фази: сходи, весняне відростання, кущіння, вихід у трубку, колосіння (бутонізація), цвітіння, плодоношення та відмирання пагонів, літній спокій, літньо-осіннє кущіння, перехід до зимового спокою [Zinchenko 2001].

Саме в кінці фази літнього спокою (друга половина серпня) трави накопичують максимальну кількість важких металів з атмосферного повітря, тому що в цей час рослині потрібна мінімальна кількість поживних речовин, яку вона бере з ґрунту. За вмістом важких металів у цій фазі визначаються рослини, що мають найбільшу здатність до накопичення атмосферного забруднення (у надземній частині). Стебла та листки багаторічних трав на своїй поверхні активно акумулюють аерозолі і дрібний пил за рахунок рослинних виділень (екзометаболітів) з утворенням слизової плівки, а слиз навколо рослинних клітин активно адсорбує іони важких

Діяльність підприємств пов'язана з забрудненням навколишнього середовища важкими металами: комунальне підприємство КП «Теплоенергетик» КМР» (основне паливо — природний газ, резервне паливо — мазут); АТ «Ельворті» (виробництво посівної, ґрунтообробної та збиральної техніки для агропромислового комплексу); ТОВ «КРМЗ ім. В. К. Таратуги» (виробництво машин і устаткування спеціального призначення — підіймального та вантажно-розвантажувального для сільського та лісового господарства, кузовів для автотранспортних засобів, причепів і напівпричепів).

На зазначених підприємствах фіксуються викиди в атмосферне повітря важких металів, у тому числі Pb, Zn (джерела викиду — труби).

На досліджуваних територіях проводилось опробування рослин (*E. repens*, *A. absinthium*, *H. perforatum*) з відбором стебел та листків методом «конверту» із стороною квадрату 1 м, з подальшим об'єднанням п'яти точкових проб в одну, загальною вагою 0,5–1,0 кг. На кожній ділянці відібрано по 25 зразків рослин та визначено вміст Zn, Pb та розраховано медіанні значення. Опробування рослин проводили у фазі літнього спокою (друга половина серпня),

металів [Krasnov *et al.* 2020]. Порівняння сорбційних властивостей різних рослин в однакових фазах розвитку дозволяє виявляти рослини з біоіндикаційними можливостями.

За розрахунками медіанного (фонового) вмісту Zn та Pb (відповідно) у рослинах на фоновій ділянці складає (мг/кг): *H. perforatum*. — 22,5; 1,35; *A. absinthium* — 25,0; 1,1; *E. repens* — 35,0; 1,0. Ці значення були основою для розрахунку визначення ступеню забруднення території досліджень (табл. 1).

Таблиця 1. Вміст важких металів (мг/кг сухої речовини), коефіцієнт концентрації (K_c) та показник забруднення рослин (S_p) у фазі літнього спокою на території Кропивницької міської агломерації
Table 1. Content of heavy metals (mg/kg of dry matter), concentration coefficient (K_c), and plant contamination index (S_p) in the summer dormancy phase in the Kropyvnytskyi agglomeration

Місце зростання	Вид рослини	Цинк (Zn)		Свинець (Pb)		S_p
		Вміст, мг/кг	K_c	Вміст, мг/кг	K_c	
Ділянка 1: фонова територія	<i>H. perforatum</i>	22,5	1,0	1,35	1,0	1,0
	<i>E. repens</i>	35,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>A. absinthium</i>	25,0	1,0	1,1	1,0	1,0
Ділянка 2: КП «Теплоенергетик» КМР»	<i>H. perforatum</i>	38,2	1,7	2,02	1,5	1,6
	<i>E. repens</i>	175,0	5,0	6,0	6,0	5,50
	<i>A. absinthium</i>	35,0	1,4	2,2	2,0	1,7
Ділянка 3: АТ «Ельворті»	<i>H. perforatum</i>	31,5	1,4	4,0	2,9	2,15
	<i>E. repens</i>	94,5	2,7	18,0	18,0	10,4
	<i>A. absinthium</i>	32,5	1,3	4,7	4,3	2,80
Ділянка 4: ТОВ «КРМЗ ім. В. К. Таратути»	<i>H. perforatum</i>	67,5	3,0	4,0	2,96	2,98
	<i>E. repens</i>	280,0	8,0	12,0	12,0	10,0
	<i>A. absinthium</i>	50,0	2,0	4,4	4,0	3,0

Встановлено, що *E. repens* накопичує важкі метали інтенсивніше за інші рослини. На цій підставі можна констатувати, що найбільше забруднення атмосферного повітря цинком спостерігається біля підприємства ТОВ «КРМЗ ім. В. К. Таратути». У надземній частині *E. repens* концентрація цинку на цій території перевищена (відносно фоновому вмісту) — у 8 разів; свинцю — у 12. У той самий час, біля підприємства АТ «Ельворті» у надземній частині *E. repens* зафіксовано перевищення фоновому вмісту цинку — у 2,7 разів; а свинцю — 18. Біля КП «Теплоенергетик» КМР» виявлено перевищення фоновому вмісту цинку — у 5 разів; свинцю — у 6. Тобто, за вмістом цинку у *E. repens* (L.) визначено, що найбільш забруднена ділянка — ТОВ «КРМЗ ім. В. К. Таратути», а за вмістом свинцю — АТ «Ельворті».

В інших рослинах, що зростають біля промислових підприємств, також спостерігається перевищення вмісту (відносно фоновому) Zn та Pb. Однак, *E. repens* накопичує важкі метали в більших кількостях, ніж інші досліджувані рослини.

Для оцінки ступеню забруднення рослин сумарною кількістю важких металів нами пропонується застосовувати показник (S_p), який дорівнює відношенню суми коефіцієнтів концентрацій важких металів до їх кількості: $S_p = \sum K_c / n$ (n — кількість врахованих хімічних елементів). За цим показником розроблена оцінювальна шкала забруднення рослин (S_p): 1–3 — слабе, 3–6 — середнє, 6–9 — сильне, більше 9 — дуже сильне.

Для досліджених територій промислових підприємств встановлена така ступінь забруднення *E. repens*: середнє — КП «Теплоенергетик» КМР» (S_p — 5,5); дуже сильне — АТ «Ельворті» (S_p — 10,4) та ТОВ «КРМЗ ім. В. К. Таратути» (S_p — 10).

Запропонований показник забруднення рослин (S_p) може стати основою побудови поліелементних біогеохімічних карт. Такі карти дозволять проводити ситуативну оцінку забруднення атмосферного повітря важкими металами за допомогою рослин-індикаторів. Дослідження показали, що *E. repens* може бути більш ефективним біоіндикатором забруднення атмосферного повітря.

Висновки

1. Результати досліджень вмісту Pb, Zn у надземній частині (стебла та листки) *Hypericum perforatum*, *Artemisia absinthium*, *Elymus repens* у фазі літнього спокою, дозволили встановити, що *E. repens* є найбільш ефективним біоіндикатором забруднення атмосферного повітря.

2. Для оцінки ступеню забруднення рослин сумарною кількістю важких металів запропоновано застосовувати показник (S_p), який дорівнює відношенню суми коефіцієнтів концентрацій важких металів до їх кількості: $S_p = \sum K_c / n$ (n — кількість врахованих хімічних елементів). За цим показником розроблена оцінювальна шкала забруднення рослин (S_p): 1–3 — слабе, 3–6 — середнє, 6–9 — сильне, більше 9 — дуже сильне.

Reference

- Alekseenko, V. A. 2000. *Ecological Geochemistry*. Logos, Moscow, 627. [In Russian]
- Barbarych, A. I. (ed.). 1977. *Geobotanic Zonation of the Ukrainian SSR*. Naukova Dumka, Kyiv, 1–304. [In Ukrainian]
- Didukh, Y. P. 2012. *Basics of Bioindication*. Naukova Dumka, Kyiv, 1–344 p. [In Ukrainian]
- Grodzinska, G. A., V. B. Nebesnyi, G. Y. Gonchar, A. I. Samchuk, S. M. Konyakin, [et al.]. 2016. *Bioindication of Technogenic Pollution in Kyiv: Methodical Approaches*. Nash Format, Kyiv, 1–122. [In Ukrainian]
- Grodzinsky, A. M., D. M. Grodzinsky. 1973. *A Brief Guide to Plant Physiology*. Naukova Dumka, Kyiv, 1–600. [In Ukrainian]
- Hazrat, A., K. Ezzat, I. Ikram. 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, **2019**: 1–14.
- Ilyin, V. B. 1985. *Elementary Chemical Composition of Plants*. Nauka, Novosibirsk, 1–129. [In Russian]
- Kabata-Pendias, A., H. Pendias 1989. *Trace Elements in Soils and Plants*. Mir, Moscow, 1–439. [In Russian]
- Krasnov, V. P., Shelest Z. M., Davydova I. V. 2012. *Phytoecology with the Basics of Forestry*. Oldi-Plus, Kherson, 1–478. [In Ukrainian]
- Kryuchenko, N., E. Zhovynsky, P. Paparyga. 2020. Biogeochemical peculiarities of accumulation of chemical elements by plants of the Svydovets Massif of the Ukrainian Carpathians. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, **30** (1): 78–89.
- Li, Y., Z. Li, G. Cozzi, C. Turetta, C. Barbante. 2018. Signals of pollution revealed by trace elements in recent snow from mountain glaciers at the Qinghai-Tibetan plateau. *Chemosphere*, **2018**: 523–531.
- Liu, X., Y. Gao, K. Sardar, G. Duan, A. Chen, L. Ling, L. Zao, L. Zhonghan, W. Xuecan. 2008. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in terrestrial plants growing on contaminated sites and their potential accumulation capacity in Heqing, Yunnan. *Journal Environmental Science*, **20**: 1469–1474.
- Palutoglu M., B. Akgul, V. Suyarko, M. Yakovenko, N. Kryuchenko, A. Sasmaz. 2018. Phytoremediation of cadmium by native plants grown on mining soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **100** (2): 293–297.
- Surkova, G. V. 2002. *Chemistry of the Atmosphere*. Publishing House of the Moscow University, Moscow, 1–210. [In Russian]
- Zhovynsky, E. Ya., N. O. Kryuchenko, P. S. Paparyga. 2008. Heavy metals in soils and vegetation of the Montenegrin landscape-geochemical zone on the example of the Carpathian Biosphere Reserve. *Exploratory and Ecological Geochemistry*, № 1 (8): 13–22. [In Ukrainian]
- Zinchenko, O. I., V. N. Salatenko, M. A. Bilonozhko. 2001. *Crop Production*. Agricultural education, Kyiv, 1–59. [In Ukrainian]