

О.З. ГЛУХОВ, О.В. МАШТАЛЕР

Донецький національний університет, кафедра ботаніки та екології
вул. Щорса, 46, Донецьк, 85000
E-mail: mashtaler_alex@mail.ru

ВИКОРИСТАННЯ *BRYUM ARGENTEUM* HEDW. ТА *BRYUM CAESPITICIUM* HEDW. (*БРЮРФУТА*) ДЛЯ ІНДИКАЦІЇ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

Ключові слова: біоіндикація, мохи, важкі метали

Key words: bioindication, mosses, heavy metals

A.Z. GLUHOV, A.V. MASHTALER

USE *BRYUM ARGENTEUM* HEDW. AND *BRYUM CAESPITICIUM* HEDW. (*БРЮРФУТА*) FOR INDICATION OF ENVIRONMENTAL CONTAMINATION BY HEAVY METALS

Donetsk National University, department of botany and ecology
46 Shchorsa str., Donetsk, 85000, Ukraine

In article the contents of heavy metals (Pb, Zn, Cu, Ni, Mn, Fe, Cr, Ca, Sn, Cd, Mo, Sb) in raw material *Bryum argenteum* Hedw. and *Bryum caespiticium* Hedw., and also in soils areas with a different level of pollution has been determined. For definition of a degree of an interlinking of accumulation of elements in mosses and soils were calculated corresponding factors of correlation. Was discovered that the level of accumulation of heavy metals in samples of mosses reflects a degree of pollution investigations the areas in territory of Donetsk. The greatest amount of toxic metals collects *B. argenteum*. This moss can be recommended as a test-species at definition of environmental contamination.

На сучасному етапі розвитку індустріального середовища надзвичайно актуальним є дослідження техногенно трансформованих екосистем. Сучасні ландшафти Донецької області є антропогенними утвореннями з сильно зміненними компонентами рельєфу, гідрології, ґрунтів та рослинності. Техногенне забруднення навколишнього середовища, негативний вплив якого в першу чергу відображається на рослинному та ґрунтовому покриві, а зрештою, і на здоров'ї людини, є наслідком спонтанного та хаотичного розвитку промисловості, необґрунтованого розміщення промислових підприємств, відсутності на них очисних споруд, а також інтенсивного збільшення кількості автотранспорту протягом останніх десятиліть. Однією з найгостріших екологічних проблем Донецької області є забруднення не тільки атмосферного повітря, але й ґрунтово-рослинного покриву. Зростання забруднення довкілля є причиною численних досліджень реального стану природних екосистем та реагування організмів на токсичну дію наявних забруднювачів у цих екотопах. Як біотичні індикатори, які адекватно реагують на зміни забруднення середовища й дають змогу виявити рівень його забруднення (передусім важкими металами) найчастіше використовують мохи [4-6]. У зв'язку з цим метою наших досліджень було визначення вмісту важких металів у *Bryum ar-*

genteum Hedw. і *Bryum caespiticium* Hedw. та в ґрунтах районів з різним рівнем забруднення.

Об'єктами експериментальних досліджень обрали поширені в природі південного сходу України види моху *B. argenteum* і *B. caespiticium*. Відбір та підготовку рослинних зразків і ґрунтів з території м. Донецька проводили за загальноприйнятими методиками [3]. Як пробні площі використовували такі території: 1) Донецький коксохімічний завод (ДКХЗ); зразки відбирали на землі на відстані 10 м від огорожі заводу. Рослинний покрив розріджений (*Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Chelidonium majus* L.). З деревних рослин відзначені види *Robinia pseudoacacia* L., *Betula pendula* Roth.; 2) Донецький металургійний завод (ДМЗ); зразки відбирали на відстані 150 м у південно-західному напрямку від підприємства. Рослинний покрив місцями відсутній; 3) Донецький ботанічний сад НАН України (ДБС); ДБС розташований поблизу автомобільної магістралі з інтенсивним рухом транспорту, а також у зоні впливу викидів металургійного та коксохімічного заводів м. Макіївка (Донецька обл.); 4) ВАТ “Донецькормаш” – підприємство гірничого машинобудування; зразки відбирали на ґрунті у сквері на відстані 1500 м у південному напрямку від підприємства. З деревних рослин відзначені: *Acer negundo* L., *Fraxinus americana* L., *Robinia pseudoacacia* L.

Уміст елементів (Pb, Zn, Cu, Ni, Mn, Fe, Cr, Ca, Sn, Cd, Mo, Sb) визначали рентгенофлюоресцентним методом на приладі “Спектроскан” [2] у ДБС. Статистичне опрацювання даних виконували за допомогою пакету прикладних програм на ЕОМ (“Statistical Graphic System”, version: 2.9, Copyright 1985, 1986, STST, Statistical Graphics Corporation, EXEC*U*STAT, Exel). Отримані результати достовірні за $P \leq 0,05$.

За результатами досліджень з'ясовано, що *B. argenteum* накопичує більшу масу елементів, ніж *B. caespiticium*. Особливо це стосується рослинного матеріалу, зібраного на території ДКХЗ, ДМЗ та ДБС (табл. 1, 2). У зразках *B. caespiticium* акумулюється найбільша кількість усіх визначених елементів на території “Донецькормаш”.

Порівняно з ГДК і регіональним фоном [1] такі елементи як Pb, Ni, Sn та Sb накопичуються у незначних кількостях. Відмічена вагома різниця між вмістом хімічних елементів у ґрунті та мохах для Pb (ДМЗ), Zn (ДМЗ), Ni (ДКХЗ), Mn (усі досліджені зони), Fe (ДМЗ, “Донецькормаш”), Cr (ДМЗ), Ca (ДБС; тільки для *B. argenteum*), Sn (ДКХЗ, ДМЗ), Cd (ДКХЗ), Mo (ДМЗ, ДБС; тільки для *B. argenteum*).

Якщо середні величини вмісту елементів поставити в порядку зменшення, то отримаємо такі ряди:

1. для сировини моху *B. argenteum*:

- ДКХЗ: Ca→Fe→Mn→Zn→Mo→Cu→Pb→Ni→Cr→Cd→Sn→Sb;
- ДМЗ: Ca→Fe→Mn→Zn→Cu→Mo→Pb→Cr→Ni→Cd→Sn→Sb;
- ДБС: Ca→Fe→Mn→Zn→Mo→Cu→Pb→Cr→Ni→Cd→Sn→Sb;
- “Донецькормаш”:
Ca→Fe→Mn→Zn→Mo→Cu→Pb→Cr→Ni→Cd→Sn→Sb;

2. для сировини моху *B. caespiticium*:

- ДКХЗ: Ca→Fe→Mn→Zn→Mo→Cu→Pb→Ni→Cr→Cd→Sn→Sb;
- ДМЗ: Ca→Fe→Mn→Zn→Cu→Mo→Pb→Cr→Ni→Cd→Sn→Sb;

Таблиця 1.

Уміст елементів у гаметофітах *Bryum caespiticium* Hedw. та в ґрунтах дослідних пробних площ м. Донецьк, мг/кг сухої маси

| Еле- мент | Суб- страт | Пробні площі | | | | | | | |
|--------------|---------------|---------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | | ДКХЗ | | ДМЗ | | ДБС | | “Донецьгормаш” | |
| | | M±m | Cv, % | M±m | Cv, % | M±m | Cv, % | M±m | Cv, % |
| Pb | рослина | 0,74±0,03 | 15,06 | 0,55±0,01 | 7,81 | 0,48±0,02 | 12,52 | 1,09±0,05 | 12,95 |
| | ґрунт | 0,72±0,02 | 9,80 | 1,04±0,03 | 8,04 | 0,72±0,02 | 7,02 | 0,74±0,01 | 4,53 |
| Zn | рослина | 28,98±1,04 | 12,92 | 32,13±0,94 | 8,82 | 24,13±0,80 | 12,34 | 36,31±1,64 | 12,80 |
| | ґрунт | 23,97±0,57 | 9,21 | 56,74±1,68 | 9,38 | 27,28±1,11 | 11,54 | 23,36±0,53 | 6,41 |
| Cu | рослина | 1,33±0,06 | 15,91 | 1,26±0,02 | 5,64 | 1,06±0,05 | 14,81 | 1,80±0,08 | 12,26 |
| | ґрунт | 1,37±0,03 | 7,66 | 1,56±0,06 | 13,60 | 1,51±0,05 | 9,62 | 1,50±0,04 | 6,08 |
| Ni | рослина | 0,51±0,02 | 14,20 | 0,40±0,01 | 6,39 | 0,39±0,02 | 15,26 | 0,63±0,02 | 10,63 |
| | ґрунт | 0,40±0,02 | 9,40 | 0,49±0,01 | 6,77 | 0,38±0,01 | 9,37 | 0,48±0,02 | 8,20 |
| Mn | рослина | 177,35±5,69 | 11,11 | 185,29±4,04 | 7,23 | 228,00±7,81 | 11,36 | 315,04±9,54 | 8,57 |
| | ґрунт | 242,02±4,98 | 5,04 | 562,95±22,88 | 14,08 | 123,12±5,69 | 13,87 | 231,50±3,39 | 4,14 |
| Fe | рослина | 1536,73±42,42 | 9,95 | 1510,80±54,71 | 10,86 | 1089,41±45,86 | 11,91 | 2147,70±89,57 | 11,80 |
| | ґрунт | 1623,87±46,47 | 7,01 | 3185,86±148,19 | 16,11 | 942,57±28,34 | 8,51 | 1702,55±38,47 | 5,53 |
| Cr | рослина | 0,45±0,02 | 16,10 | 0,41±0,01 | 9,47 | 0,40±0,02 | 15,60 | 0,70±0,03 | 12,80 |
| | ґрунт | 0,48±0,02 | 11,36 | 0,65±0,03 | 12,30 | 0,47±0,01 | 5,42 | 0,52±0,0003 | 1,45 |
| Ca | рослина | 5092,0±237,47 | 16,81 | 4387,12±103,04 | 7,79 | 3480,68±171,65 | 14,79 | 7467,27±366,23 | 19,62 |
| | ґрунт | 4604,75±199,6 | 13,71 | 5056,39±219,39 | 13,02 | 4747,27±226,42 | 14,31 | 4670,0±149,59 | 7,85 |
| Sn | рослина | 0,11±0,0033± | 15,27 | 0,07±0,0021 | 0,07 | 0,35±0,01 | 5,07 | 0,16±0,01 | 11,55 |
| | ґрунт | 0,07±0,0001 | 6,03 | 0,11±0,0003 | 9,29 | 0,12±0,01 | 18,15 | 0,15±0,0004 | 7,88 |
| Cd | рослина | 0,35±0,02 | 16,34 | 0,25±0,0075 | 1,08 | 0,35±0,01 | 5,99 | 0,45±0,02 | 13,02 |
| | ґрунт | 0,19±0,01 | 9,15 | 0,31±0,02 | 17,77 | 0,32±0,02 | 19,04 | 0,39±0,01 | 7,18 |
| Mo | рослина | 1,78±0,07 | 13,79 | 1,24±0,03 | 7,50 | 1,58±0,08 | 12,22 | 2,68±0,13 | 15,18 |
| | ґрунт | 1,60±0,07 | 13,52 | 2,47±0,12 | 15,69 | 2,24±0,09 | 15,89 | 2,88±0,09 | 8,07 |
| Sb | рослина | 0,01±0,0003 | 0,05 | 0,01±0,0003 | 0,05 | 0,01±0,0003 | 4,15 | 0,02±0,0006 | 0,05 |
| | ґрунт | 0,01±0,0003 | 4,15 | 0,01±0,0003 | 0,05 | 0,01±0,0003 | 4,15 | 0,02±0,0006 | 0,05 |

Умовні позначення: M±m – середнє арифметичне та похибка, Cv, % - коефіцієнт варіації ознаки.

Таблиця 2.

Уміст елементів у гаметофітах *Bryum argenteum* Hedw. та в ґрунтах дослідних пробних площ м. Донецьк, мг/кг сухої маси

| Елемент | Субстрат | Пробні площі | | | | | | | |
|---------|----------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | | ДКХЗ | | ДМЗ | | ДБС | | “Донецьгормаш” | |
| | | M±m | Cv, % | M±m | Cv, % | M±m | Cv, % | M±m | Cv, % |
| Pb | рослина | 0,74±0,03 | 14,42 | 0,55±0,02 | 9,39 | 0,58±0,03 | 14,43 | 0,87±0,04 | 11,35 |
| | ґрунт | 0,72±0,02 | 9,80 | 1,04±0,03 | 8,04 | 0,72±0,02 | 7,02 | 0,74± | 4,53 |
| Zn | рослина | 29,02±0,89 | 11,94 | 32,16±1,07 | 9,37 | 25,05±1,05 | 15,71 | 25,28±1,20 | 11,59 |
| | ґрунт | 23,97±0,57 | 9,21 | 56,74±1,68 | 9,38 | 27,28±1,11 | 11,54 | 23,36± | 6,41 |
| Cu | рослина | 1,34±0,05 | 14,50 | 1,27±0,02 | 5,89 | 1,23±0,04 | 13,54 | 1,55±0,06 | 9,54 |
| | ґрунт | 1,37±0,03 | 7,66 | 1,56±0,06 | 13,60 | 1,51±0,05 | 9,62 | 1,50± | 6,08 |
| Ni | рослина | 0,51±0,02 | 13,84 | 0,41±0,01 | 7,01 | 0,47±0,02 | 15,91 | 0,58±0,02 | 7,99 |
| | ґрунт | 0,40±0,02 | 9,40 | 0,49±0,01 | 6,77 | 0,38±0,01 | 9,37 | 0,48± | 8,20 |
| Mn | рослина | 178,77±8,72 | 13,79 | 186,61±5,64 | 8,55 | 283,62±6,19 | 7,24 | 354,66±6,76 | 5,39 |
| | ґрунт | 242,02±4,98 | 5,04 | 562,95±22,88 | 14,08 | 123,12±5,69 | 13,87 | 231,50± | 4,14 |
| Fe | рослина | 1537,26±70,95 | 13,05 | 1510,81±62,03 | 11,61 | 1267,83±40,28 | 11,45 | 1561,30±54,46 | 8,54 |
| | ґрунт | 1623,87±46,47 | 7,01 | 3185,86±148,19 | 16,11 | 942,57±28,34 | 8,51 | 1702,55± | 5,53 |
| Cr | рослина | 0,46±0,02 | 17,24 | 0,45±0,02 | 11,40 | 0,50±0,02 | 16,37 | 0,63±0,01 | 3,73 |
| | ґрунт | 0,48±0,02 | 11,36 | 0,65±0,03 | 12,30 | 0,47±0,01 | 5,42 | 0,52± | 1,45 |
| Ca | рослина | 5092,05±204,67 | 15,57 | 4387,42±197,30 | 11,02 | 4171,15±162,75 | 14,07 | 5573,63±147,30 | 6,47 |
| | ґрунт | 4604,75±199,6 | 13,71 | 5056,39±219,39 | 13,02 | 4747,27±226,42 | 14,31 | 4670,0± | 7,85 |
| Sn | рослина | 0,12±0,0036 | 14,96 | 0,07±0,0021 | 0,03 | 0,15±0,01 | 13,12 | 0,12±0,0036 | 9,61 |
| | ґрунт | 0,07±0,0001 | 6,03 | 0,11±0,0003 | 9,29 | 0,12±0,01 | 18,15 | 0,15± | 7,88 |
| Cd | рослина | 0,37±0,02 | 15,74 | 0,25±0,0075 | 2,04 | 0,47±0,02 | 15,45 | 0,35±0,01 | 9,15 |
| | ґрунт | 0,19±0,01 | 9,15 | 0,31±0,02 | 17,77 | 0,32±0,02 | 19,04 | 0,39± | 7,18 |
| Mo | рослина | 1,76±0,07 | 13,84 | 1,27±0,05 | 9,35 | 2,21±0,11 | 18,40 | 2,31±0,08 | 8,42 |
| | ґрунт | 1,60±0,07 | 13,52 | 2,47±0,12 | 15,69 | 2,24±0,09 | 15,89 | 2,88± | 8,07 |
| Sb | рослина | 0,01±0,0003 | 19,98 | 0,01±0,0003 | 4,15 | 0,02±0,0006 | 14,42 | 0,01±0,0003 | 24,85 |
| | ґрунт | 0,01±0,0003 | 4,15 | 0,01±0,0003 | 0,05 | 0,01±0,0003 | 4,15 | 0,02± | 0,05 |

Умовні позначення: M±m – середнє арифметичне та похибка, Cv, % - коефіцієнт варіації ознаки.

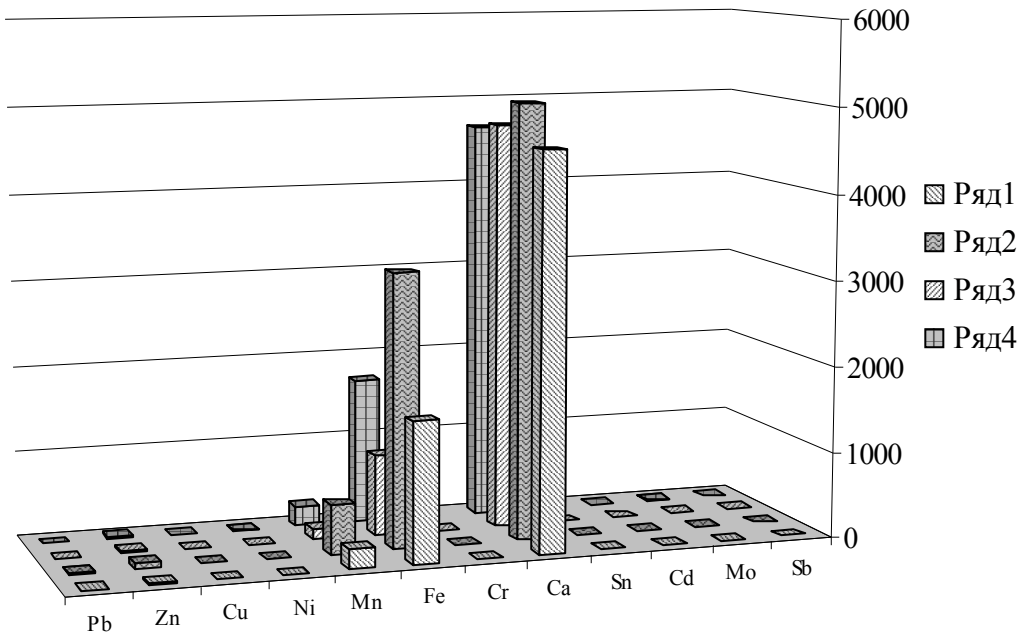


Рис. 1. Накопичення елементів у ґрунтах досліджених зон. За віссю абсцис – метали; за віссю ординат – вміст металів, мг/кг сухої маси. Умовні позначення: ряд 1 – ДКХЗ; ряд 2 – ДМЗ; ряд 3 – ДБС; ряд 4 – “Донецьгормаш”.

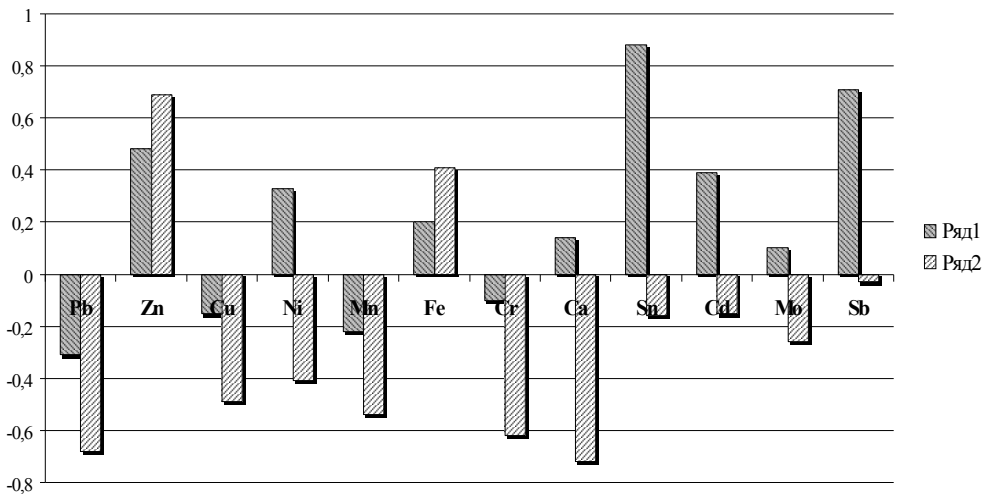


Рис. 2. Кореляційна залежність між концентрацією хімічних елементів у *B. argenteum* і *B. caespiticium* та їх вмістом у ґрунтах. За віссю абсцис – хімічні елементи; за віссю ординат – коефіцієнти кореляції. Умовні позначення зразків: ряд 1 - *Bryum argenteum*, ряд 2 - *Bryum caespiticium*.

- ДБС: Ca→Fe→Mn→Zn→Mo→Cu→Pb→Cr→Ni→Cd→Sn→Sb;
- “Донецькгормаш”:
Ca→Fe→Mn→Zn→Mo→Cu→Pb→Cr→Ni→Cd→Sn→Sb;
- 3. для ґрунту (рис. 1.):
- ДКХЗ: Ca→Fe→Mn→Zn→Mo→Cu→Pb→Cr→Ni→Cd→Sn→Sb;
- ДМЗ: Ca→Fe→Mn→Zn→Mo→Cu→Pb→Cr→Ni→Cd→Sn→Sb;
- ДБС: Ca→Fe→Mn→Zn→Mo→Cu→Pb→Cr→Ni→Cd→Sn→Sb;
- “Донецькгормаш”:
Ca→Fe→Mn→Zn→Mo→Cu→Pb→Cr→Ni→Cd→Sn→Sb.

Для визначення ступеня сполученості накопичення елементів у мохах та ґрунтах були розраховані відповідні коефіцієнти кореляції (рис. 2.).

Найбільші негативні величини коефіцієнтів кореляції виявлені для зразка *B. argenteum*: Pb (r -0,31), Cu (r -0,15), Mn (r -0,22), Cr (r -0,1); *B. caespiticium*: Pb (r -0,68), Cu (r -0,49), Ni (r -0,41), Mn (r -0,54), Cr (r -0,62), Ca (r -0,72), Sn (r -0,16), Cd (r -0,15), Mo (r -0,26), Sb (r -0,03). У свою чергу, найпозитивніші кореляції встановлені для зразка *B. argenteum*: Zn (r 0,48), Ni (r 0,33), Fe (r 0,20), Ca (r 0,14), Sn (r 0,88), Cd (r 0,39), Mo (r 0,10), Sb (r 0,71); *B. caespiticium*: Zn (r 0,69), Fe (r 0,41).

Результати нашого експерименту свідчать про те, що рівень накопичення важких металів у мохах відображає ступінь забруднення ними досліджених площ на території м. Донецьк. Найбільша кількість токсичних металів накопичується *B. argenteum*. Таким чином, мохи *B. argenteum* і *B. caespiticium* можна використовувати в якості тест-видів забруднення середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Геолого-екологические** исследования в зоне влияния Луганской ГРЭС (ли-тохимические и фитохимические исследования). – Донецк, 1996.
2. **Методологические** указания по проведению энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа растительных материалов. – М.: Колос, 1983. – 47 с.
3. **Методы** биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, М.И. Смирнова-Иконникова и др. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
4. **Речевська Н.** Нагромадження та внутрішньоклітинний розподіл іонів важких металів у мохах // Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна. – 2002. – Вип. 29. – С. 204-210.
5. **Grodzinska K., Szarek-Lukashevska G.** Response of mosses to the heavy metal deposition in Poland – an overview // Environ. Pollut. – 2001. – Vol. 114, № 3. – P. 443-451.
6. **Steinnes E.** A critical evaluation of the use naturally growing moss to monitor the deposition of atmospheric metals // Sci. Total Environ. – 1995. – 160-161. – P. 243-249.