

О.З. Глухов¹, О.В. Машталер²

ІНДИКАЦІЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ СЕРЕДОВИЩА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МОХІВ

мохоподібні, елементи забруднення середовища, індикація

Забруднення довкілля техногенними продуктами, зокрема важкими металами, призводить до значного погіршення стану всіх компонентів екосистеми, а іноді до повної їх деградації. На забруднених територіях змінюються біотичні та фізико-хімічні властивості ґрунтів, пригнічується ріст та розвиток рослин, знижується їх життєздатність і продуктивність. Мохоподібні, на відміну від інших рослин, мають високу стійкість до забруднення та можуть бути придатними для розробки швидкого та дешевого експрес-методу оцінки екологічної ситуації. Тому вивчення біоаккумуляційних та біоіндикаційних особливостей мохів як прояву адаптогенезу до забруднення середовища набуло особливої актуальності в умовах техногенно трансформованого середовища південного сходу України.

Мета даної роботи – встановлення певних реакцій мохоподібних на забруднення навколишнього середовища важкими металами та можливості проведення за їх видами біомоніторингу стану техногенно трансформованого середовища південного сходу України.

У зв'язку з поставленою метою основні завдання дослідження такі: встановити видовий склад мохоподібних в екотопах техногенно трансформованого середовища південного сходу України; провести аналіз частоти трапляння, проективного покриття та форм росту мохоподібних в умовах техногенно трансформованого середовища південного сходу України; виявити особливості досліджуваної бріофлори на основі систематичного, географічного, екологічного та ценотичного аналізів; проаналізувати вміст елементів Pb, Zn, Cu, Ni, Mn, Fe, Cr, Ca, Sn, Cd, Mo, Sb у гаметофітах мохів та у коренезаселеному шарі ґрунтів на пробних площах; встановити кореляційні зв'язки між показниками забруднення ґрунтів важкими металами та вмістом їх у гаметофітах мохів-індикаторів; визначити анатомо-морфологічні характеристики деяких представників мохоподібних досліджуваних екотопів; підібрати перспективні індикатори у бріофлорі антропогенно трансформованих екотопів південного сходу України. Об'єкт дослідження – мохоподібні техногенно трансформованого середовища південного сходу України.

В основу роботи покладено оригінальні флористичні матеріали, зібрані протягом 2002-2006 рр. на південному сході України.

Для біоіндикаційних досліджень використовували методи пасивного моніторингу [16, 17]. Оцінку техногенного навантаження на території досліджу за показниками вмісту токсичних елементів (Pb, Zn, Cu, Ni, Mn, Fe, Cr, Ca, Sn, Cd, Mo та Sb) проводили за отриманими даними хіміко-аналітичного визначення [9, 10] вмісту важких металів у гаметофітах мохів *Bryum argenteum* Hedw. і *B. caespiticium* Hedw. та у ґрунтах пробних площ наступних територій: Донецький коксохімічний завод (ДКХЗ); ВАТ «Донецький металургійний завод» (ДМЗ); Донецький ботанічний сад НАН України (ДБС); ВАТ «ДонецькГірМаш» (ДГМ); фенольний завод у м. Дзержинськ (ФЗ); шахта «Південна» (м. Дзержинськ); цвинтар житлового мікрорайону №1 (м. Дзержинськ). Зразки ґрунту відбирали за загальноприйнятими методиками [1, 8]. Коефіцієнт акумуляції (або коефіцієнт відносного

нагромадження елементів) визначено за методикою ряду авторів [2, 11]. Для визначення проективного покриття мохів використовували метод К.О. Уличної зі співавторами [13]. Було досліджено мохові епігейні обростання субстратів на відвалах вугільних шахт та визначено частоту трапляння їх на основі методу Раункієра [13], модифікованого нами стосовно епігейних мохів. В основу аналізу класифікації форм росту мохоподібних покладено класифікацію С.Н. Gimingham та Е.Т. Robertson [15], доповнену К.О. Уличною [12] та М.Ф. Бойком [3, 4].

Отримані результати оброблено за статистичними методами [5, 6, 13] та за допомогою пакетів прикладних програм: Exel, Statgraph 5.0, Statistica 6.0, SPSS 11.5 for Windows.

Досліджено бріофлору наступних антропогенних комплексів [7]: паркових культурфітоценозів (парк ім. Ленінського комсомолу та центральний парк культури та відпочинку (ЦПК та В) ім. О.С. Щербакова (м. Донецьк), центральний парк відпочинку (м. Дзержинськ), парк «Ювілейний» (м. Красноармійськ) та національний природний парк (НПП) «Святі гори» (м. Святогірськ)) і селітебних ділянок (міста Донецьк, Дзержинськ, Красноармійськ та Святогірськ), власне техногенних територій (9 відвалів вугільних шахт міст Донецька, Макіївки, Дзержинська, Тореза та промислові майданчики підприємств міст Донецька та Дзержинська), що характеризуються найбільшим рівнем забруднення важкими металами (ДКХЗ, ДМЗ, ДГМ, ФЗ, шахта «Південна»), а також ДБС та житловий мікрорайон; контрольну ділянку було закладено у відділенні Українського природного степового заповідника – Хомутовський степ.

В рамках даної роботи вперше проведено спеціальне дослідження мохоподібних у техногенних екотопах південного сходу України. Виявлено 38 видів мохоподібних, що належать до двох відділів – Bryophyta (37 видів) та Hepatophyta (1 вид). Найбільша кількість видів відноситься до родин Bryaceae та Brachytheciaceae (по 5 видів).

В досліджених культурфітоценозах визначено 35 видів мохів. Найрізноманітнішою виявилася бріофлора НПП «Святі гори» (31 вид; 36%); друге місце займає ЦПК та В ім. О.С. Щербакова (29 видів; 22%), далі – парк відпочинку у м. Дзержинськ (13%) та парк «Ювілейний» у м. Красноармійськ (12%). Мохоподібні було досліджено в таких едафотопях: ґрунт в штучних насадженнях, порушені незадерновані ділянки ґрунту, кора дерев, гнила деревина, кам'янисті субстрати. Найбільшою виявилася бріофлора на ґрунті в штучних насадженнях (18 видів). У всіх досліджених парках виявлено ділянки, що зазнають сильного витоптування і дію забруднення, де трапляються тільки антропоотолерантні представники мохоподібних (*Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Bryum argenteum*, *Bryum caespiticium*, *Tortula ruralis* (Hedw.) Gaertn., Meyer et Scherb.).

На селітебних територіях визначено 18 видів мохоподібних, серед яких переважають епігейні та епіфітні види мохів. На територіях промислових підприємств визначено 6 видів мохоподібних. Це широко розповсюджені космополітні види. Три види трапляються на усіх промислових майданчиках – це високоактивні, верхоплідні мохи *Bryum argenteum*, *B. caespiticium* та *Ceratodon purpureus*, які є типовими для міських умов – урбанофіли. Ці мохи складають ядро антропоотолерантних видів. Їх загальна риса – висока спроможність до вегетативного розмноження, витривалість до витоптування, засолення та забруднення токсичними речовинами.

Видовий склад мохоподібних відвалів вугільних шахт нараховує 15 видів. Найбільшу кількість видів виявлено на едафотопях відвалів шахт ім. Орджонікідзе (м. Макіївка) – 15 видів; «Бутовка-Донецька» – 8 видів та шахти «6-14» – 6 видів. На вершині відвалу шахти ім. Орджонікідзе нами вперше було зафіксовано болотяні мохи *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr., *Calliergonella cuspidata* (Hedw.) Loeske та вид, який відмічали тільки в Криму – *Bryum torquescens* V. et S. На всіх досліджених вугільних відвалах масово

зростають *Ceratodon purpureus*, *Bryum argenteum*, *B. caespiticium*, *Funaria hygrometrica* Hedw. та *Barbula unguiculata* Hedw., більша частина з яких утворює спорогони. Відмічено, що найчастіше мохоподібні траплялись на едафотобах з північної експозиції відвалів. Зростаючи на субстратах відвалів вугільних шахт, мохи накопичують атмосферну вологу, затримують пил, дрібнозем та продукти руйнування породи. Тобто приймають своєрідну участь у формуванні необхідних умов едафотопу та для поселення квіткових рослин.

У бріофлорі досліджених територій південного сходу України було виділено чотири географічні елементи: бореальний, аридний, неморальний та космополітний. Домінуючу позицію займають бореальний, неморальний та аридний географічні елементи. Аридний елемент майже дорівнює за кількістю видів неморальному. Цьому сприяють еколого-ценотичні умови регіону досліджень, що спричиняють природний добір та виживання ксерофітних і геліофітних форм мохоподібних. Космополіти представлені лише 4 видами. В свою чергу, провідне місце у екологічній структурі належить мезоксерофітам, мезотрофам, геліофітам. За відношенням до хімізму субстрату переважна більшість мохоподібних (16 видів) належить до інцертофілів [3, 4], тобто видів, що не проявляють чіткої залежності від хімізму та тягнуть до едафотопів з широким діапазоном хімічного складу. За ценотичною активністю серед досліджених мохоподібних загалом переважають неактивні види, більшість з яких є компонентами піонерних рослинних угруповань на первинних та похідних едафотобах антропогенного походження.

З'ясовано, що існує тісний зв'язок між частотою трапляння мохів та їх проективним покриттям. Виявлено, що види, які трапляються найчастіше, здебільшого характеризуються і найвищим показником проективного покриття. Про це свідчать високі показники проективного покриття *B. caespiticium* (26,76%) та *Barbula unguiculata* (22,37%).

При виділенні життєвих форм мохоподібних антропогенних комплексів ми перш за все виходили з побудови всієї мохової дернини, а не лише з будови стебел мохів. Їх було розподілено за такими формами: щільна дернина, плоский килим, рихла дернина та щільне плетиво. Серед досліджених мохоподібних переважають види з щільнодернинною життєвою формою, на другому місці – плоскокилимова форма, на третьому – рихлодернинна. Визначено, що життєва форма мохоподібних залежить не тільки від навколишнього середовища в цілому, а й від наявності певних мікроумов у ектообах та величини екологічної амплітуди виду.

Для встановлення певних реакцій мохоподібних на забруднення навколишнього середовища та визначення вмісту важких металів у гаметофітах мохоподібних в якості перспективних тест-видів для проведення постійного комплексного моніторингу було обрано поширені у природних місцезростаннях південного сходу України види моху *Bryum argenteum* та *B. caespiticium*.

Встановлено, що *B. argenteum* накопичує більший вміст досліджених елементів забруднення середовища, ніж *B. caespiticium* майже в усіх пробних площах в містах Донецьк та Дзержинськ (рис.1, 2). Відмічено вагому різницю між вмістом хімічних елементів у ґрунтах (рис. 3) та мохах для Pb (ДМЗ), Zn (ДМЗ, мікрорайон № 1), Ni (ДКХЗ, ФЗ, мікрорайон № 1), Mn (усі досліджені зони), Fe (ДМЗ, ДонецькГірМаш, шахта «Південна»), Cr (ДМЗ, ФЗ, мікрорайон № 1 – тільки для *B. argenteum*), Sn (ДКХЗ, ДМЗ, мікрорайон № 1), Cd (ДКХЗ, мікрорайон № 1), Mo (ДМЗ, ДБС та всі досліджені зони на території м. Дзержинськ). Для визначення ступеня сполученості накопичення елементів забруднення у гаметофітах мохів та ґрунтах було розраховано відповідні коефіцієнти кореляції. Найбільш негативні величини коефіцієнтів кореляції виявлено для *Bryum argenteum*: Pb ($r = -0,31$), Cu ($r = -0,15$), Mn ($r = -0,22$), Cr ($r = -0,1$); для *B. caespiticium*: Pb ($r = -0,68$), Cu ($r = -0,49$), Ni ($r = -0,41$), Mn ($r = -0,54$), Cr ($r = -0,62$), Ca ($r = -0,72$),

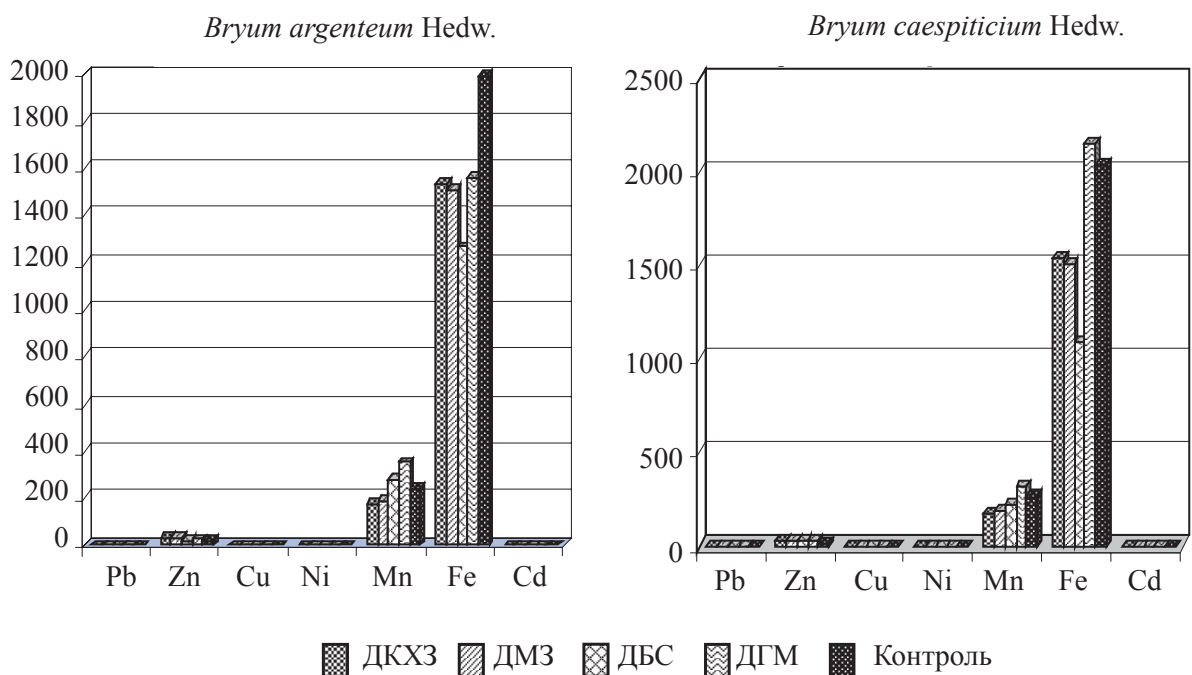


Рис. 1. Вміст важких металів у гаметофітах мохоподібних з пробних площ у м. Донецьк (мг/кг сухої маси)

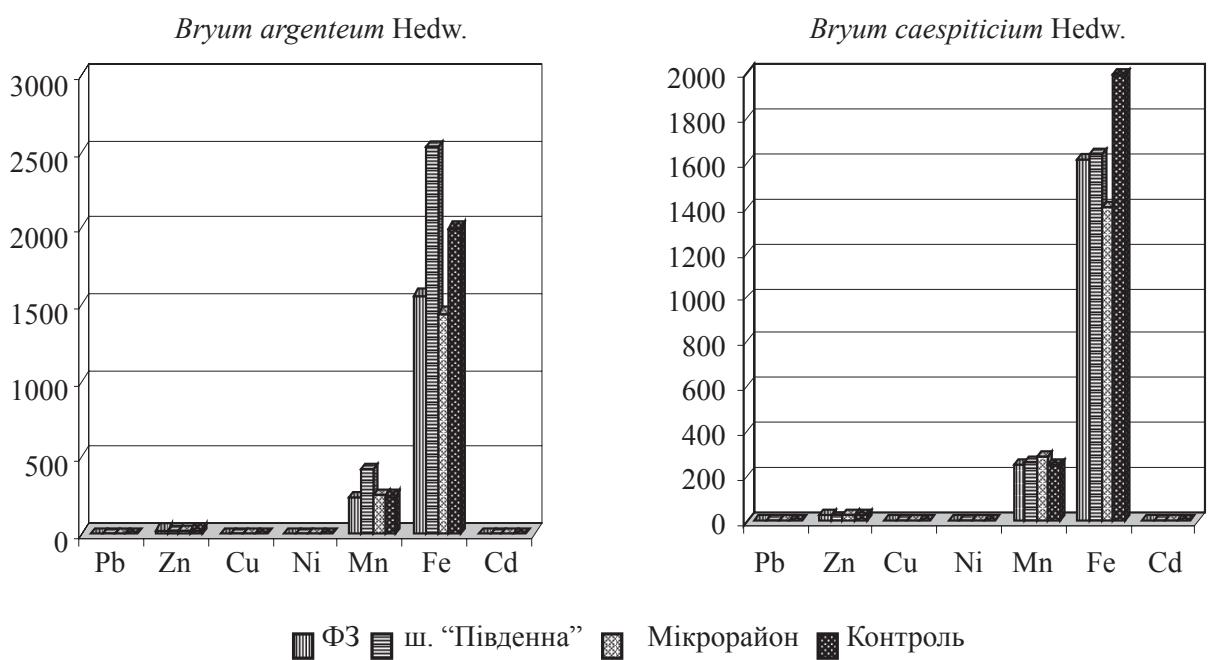
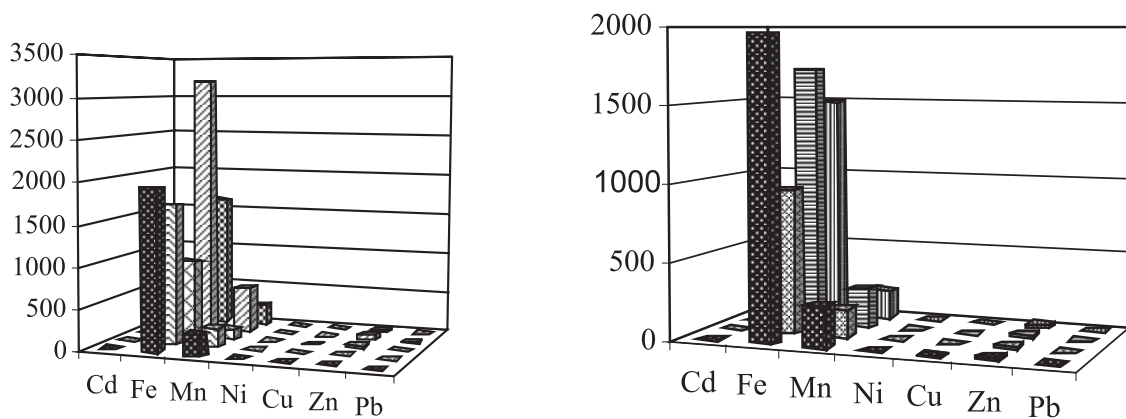


Рис. 2. Вміст важких металів у гаметофітах мохоподібних з пробних площ у м. Дзержинськ (мг/кг сухої маси)



■ ДКХЗ ■ ДМЗ ■ ДБС ■ ДГМ ■ Контроль ■ ФЗ ■ ш. "Південна" ■ Мікрорайон ■ Контроль

Рис. 3. Накопичення важких металів у ґрунтах пробних площ у містах Донецьк (А) та Держинськ (Б) (мг/кг сухої маси)

Sn ($r = -0,16$), Cd ($r = -0,15$), Mo ($r = -0,26$), Sb ($r = -0,03$). В свою чергу, найпозитивніші кореляційні зв'язки встановлено для *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 ($r = +0,10$) та Sb ($r = +0,71$); *B. caespiticium*: Zn ($r = +0,69$), Fe ($r = +0,41$).

Результати рентгенофлюоресцентного та атомно-абсорбційного аналізів щодо здатності мохів акумулювати певні хімічні елементи показали, що їх рівень накопичення у досліджених зразках мохоподібних відображає ступінь забруднення ними пробних площ на південному сході України.

Кореляційний аналіз отриманих даних також дозволив визначити надходження важких металів у коренезаселений шар ґрунтів. Для цього визначено кореляційні зв'язки між показниками вмісту важких металів у ґрунті окремо для кожної пробної площі та коефіцієнти детермінації (для визначення наявності непрямого кореляційного зв'язку) між вибірками. Згідно з отриманими коефіцієнтами детермінації, найщільніший зв'язок спостерігається у групах Zn–Pb, Ni–Zn та Ni–Pb (ФЗ); Cd–Fe, Sn–Cr та Zn–Pb (мікрорайон № 1). Для території шахти «Південна» було отримано пряму залежність ($r = +1$) у групах Cd–Sn та Mo–Cd. Для пробних площ у м. Донецьк найщільніший зв'язок спостерігається у групах Cu–Pb (ДКХЗ, ДГМ), Cr–Fe, Cr–Pb, Cr–Ni, Ca–Ni, Cd–Zn, Mo–Ni (ДКХЗ), Ni–Pb, Ca–Cu, (ДКХЗ, ДБС), Cu–Zn, Cd–Sn, (ДМЗ, ДГМ), Mo–Cd, Fe–Cu, Cr–Cu, Sn–Zn та Sb–Pb (ДМЗ); Cu–Zn, N–Zn, Sn–Cr, Sb–Cr та Sb–Sn (ДБС); Zn–Pb, Mo–Pb та Mo–Zn (ДГМ).

Отримані коефіцієнти кореляції та коефіцієнти детермінації між показниками забруднення ґрунтів важкими металами для досліджених пробних площ міст Донецька та Держинська свідчать про різні рівні забруднення цих територій, що є результатом комплексного забруднення ґрунтів не тільки викидами промислових підприємств різної потужності кожного міста окремо, а й вихлопними газами автомобілів. Це пов'язано з тим, що саме ґрунти є більш стійкою складовою природного середовища у порівнянні з повітрям та водою. І хоча мохоподібні, завдяки своїй анатомо-мофологічній будові, пасивно поглинають іони елементів забруднення безпосередньо із повітря всією масою тіла, але вони однаково знаходяться у безпосередньому контакті з едафокомпонентом.

З метою визначення нагромадження елементів забруднення середовища видами мохів *Bryum argenteum* та *B. caespiticium* у міських умовах (м. Донецьк, м. Держинськ), визначено коефіцієнт акумуляції (**Ка**) (рис. 4), що дозволяє порівняти види за їх

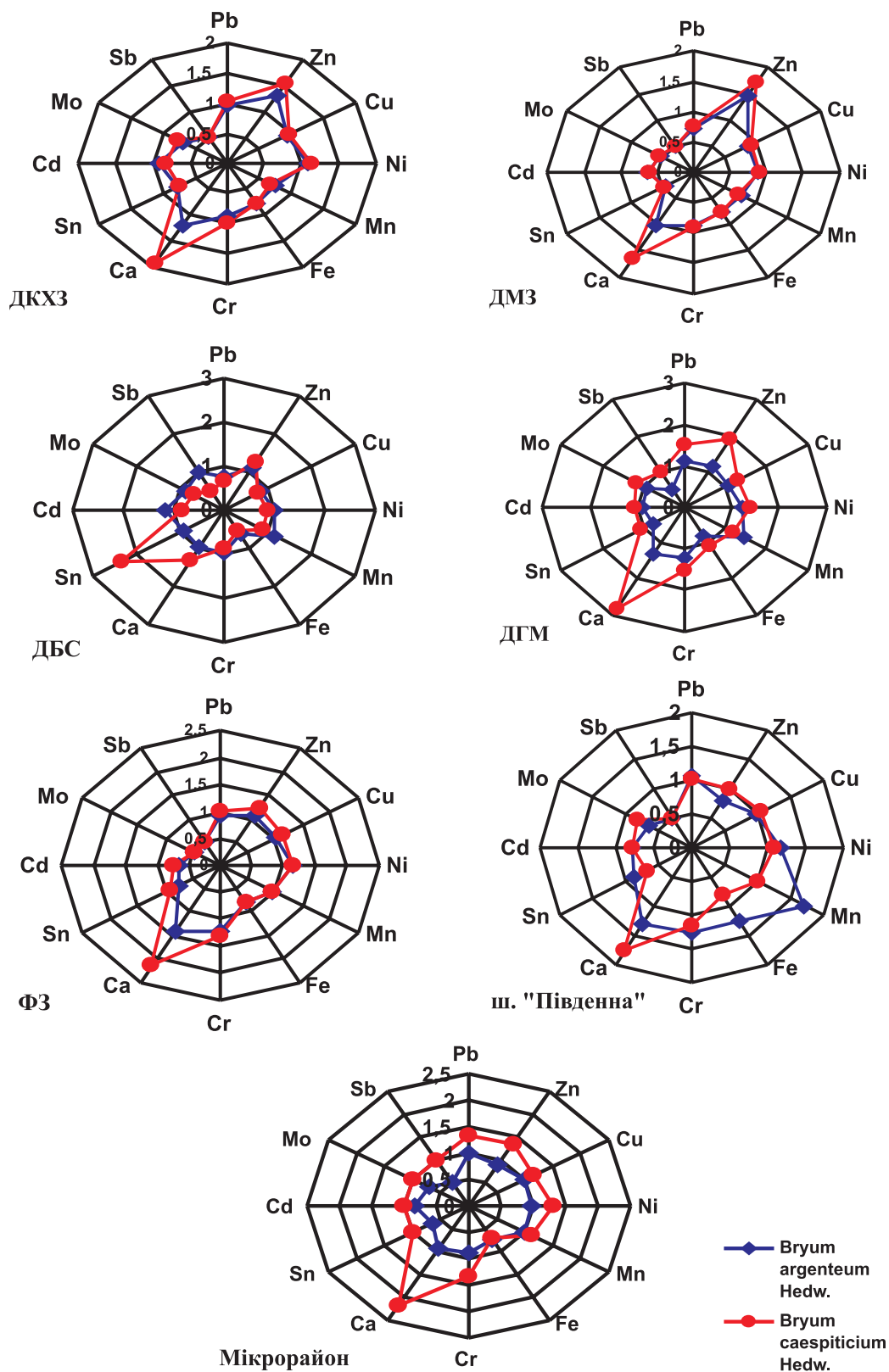


Рис.4. Коефіцієнт акумуляції елементів забруднення у гаметофітах *Bryum argenteum* Hedw. та *Bryum caespiticium* Hedw. з пробних площ досліджених територій:
 ДКХЗ – Донецький коксохімічний завод; ДМЗ – ВАТ «Донецький металургійний завод»;
 ДБС – Донецький ботанічний сад НАН України; ДГМ – ВАТ «ДонецьГірМаш»;
 ФЗ – фенольний завод (м. Держинськ); шахта «Південна» (м. Держинськ);
 Мікрорайон – цвинтар житлового мікрорайону №1 (м. Держинськ)

здатністю до акумуляції елементів в умовах забруднення середовища. Найбільшим **Ka** виявився для Ca та Sn у *B. caespiticium* з території ДБС, ДГМ (м. Донецьк) та ФЗ (м. Дзержинськ). На відміну від *B. caespiticium*, *B. argenteum* має найвищий **Ka** для Mn (ДБС, „ДонецькГірМаш”, шахта „Південна”), Fe та Cr (ДБС, шахта „Південна”) і Cd (ДБС). Визначено майже однаковий **Ka** для Sb (обидва види моху) з усіх досліджених територій. Найнижчі показники **Ka** визначено для *B. argenteum* з усіх досліджених територій, що свідчить про його вищу, ніж у *B. caespiticium*, акумулятивну спроможність щодо відповідних елементів забруднення середовища.

На території заводу ДГМ розвиток мохоподібних найбільш пригнічений. Цей факт також підтверджують отримані дані щодо вмісту важких металів у гаметофітах мохів з території ДГМ (рис. 1), що є вищим порівняно з іншими моніторинговими зонами м. Донецька.

Слід відмітити, що на дернинках досліджених мохів з території ДГМ не було знайдено жодного спорогону. Це є ознакою впливу несприятливих екологічних умов на існування мохів та переважання вегетативного їх розмноження над генеративним. Аналогічна тенденція спостерігається і для популяцій *B. argenteum* та *B. caespiticium* з екоотів територій ДМЗ та *B. argenteum* з ДКХЗ. Тільки на території ДБС дернинки обох видів моху були зі спорогонами, а на промисловому майданчику ДКХЗ спорогони утворював лише *B. argenteum*. Цікаво, що мохи утворювали спорогони саме на території біля фенольного заводу. Можливо, що це стало своєрідним захистом популяції від швидкого вимирання та монотонного повторювання генотипу батьківського організму. Мохоподібні з інших моніторингових зон м. Дзержинська не відрізнялися такою особливістю: у них мало місце вегетативне розмноження, а не генеративне.

Таким чином, виявлено диференційовану чутливість досліджених видів мохоподібних до токсичної дії елементів техногенного забруднення, що підтверджує перспективність методів бріоіндикації стану навколишнього середовища і розширює можливості їх використання. Виявлено токсикотолерантні види мохоподібних – *Bryum argenteum*, *B. caespiticium*, *Ceratodon purpureus*, *Funaria hygrometrica*, *Leskea polycarpa*. Встановлено, що розвиток мохоподібних в екотопах техногенно трансформованого середовища є досить інформативним індикатором забруднення середовища, тому вони можуть слугувати адекватними біомаркерами у системі моніторингу за станом середовища.

1. Ариушикина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 487 с.
2. Безсонова В.П. Пассивный мониторинг забруднення середовища важкими металами з використанням трав'янистих рослин // Укр. ботан. журн. – 1991. – 48, № 2. – С. 77 – 80.
3. Бойко М.Ф. Про синузії мохоподібних // Укр. ботан. журн. – 1978. – 35, № 1. – С. 87 – 92.
4. Бойко М.Ф. Мохообразные в ценозах степной зоны Европы. – Херсон: Айлант, 1999. – 160 с.
5. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
6. Лакин Г.Ф. Биометрия: Учеб. пособие для биол. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
7. Маиталер О.В. Мохоподібні антропогенних комплексів південного сходу України // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону: Міжвід. зб. наук. праць. – Донецьк: Вид-во Донецьк. нац. ун-ту, 2005. – Вип. 5. – С. 41 – 48.
8. Методические указания по проведению энергодисперсионного рентгенофлуорисцентного анализа растительных материалов / Под ред. Ю. Логинова. – М.: Колос, 1983. – 47 с.
9. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, М.И. Смирнова-Иконникова и др. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
10. Обухов А.И., Плеханова И.О. Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1991. – 184 с.
11. Парибок Т.А., Сазыкина Н.А., Топорский В.Н. и др. Накопление химических элементов у напочвенных мхов в городе // Ботан. журн. – 1987. – 72, № 7. – С. 981 – 986.
12. Улична К.О. Форми росту мохоподібних Карпатського високогір'я // Укр. ботан. журн. – 1970. – 27, № 2. – С. 189 – 195.

13. Ульчина К.О., Гапон С.В., Кулик Т.Г. К методике изучения эпифитных моховых обрастаний // Проблемы бриологии СССР. – Л.: Наука, 1989. – С. 201 – 206.
14. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике: Учеб. пособие. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 288 с.
15. Gimingham C.H., Robertson E.T. Preliminary investigations on the structure of bryophytic communities // Trans. Brit. Bryol. Soc. – 1950. – 1, № 4. – P. 330 – 344.
16. Knabe W. Technical proposals for an European survey of air pollution on impact mountain forest // Aquilo. Ser. Bot. – 1983. – № 19. – P. 177 – 182.
17. Puckett K.J., Burton M.A.S. The Effect of Trace Elements on Lower Plants // Effect of heavy metal pollution on plants. – London and Jersey: Applied Science Publishers, 1981. – P. 213 – 238.

Донецький ботанічний сад НАН України
Донецький національний університет

Надійшла 17.09.2007.

УДК 582.296.32:635.15 (477.60)

ІНДИКАЦІЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ СЕРЕДОВИЩА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МОХІВ

О.З. Глухов¹, О.В. Машталер²

Донецький ботанічний сад НАН України, Донецький національний університет

Вперше виявлено видовий склад мохоподібних в ектопах техногенно трансформованого середовища південного сходу України. В якості перспективних тест-видів для проведення локального комплексного моніторингу обрано види моху *Bryum argenteum* Hedw. та *B. caespiticium* Hedw. Встановлено, що *B. argenteum* накопичує більший вміст елементів забруднення, ніж *B. caespiticium*. Визначено кореляційні зв'язки між показниками забруднення ґрунтів важкими металами та вмістом відповідних елементів у гаметофітах мохів. Розвиток мохоподібних в ектопах техногенно трансформованого середовища є досить інформативним індикатором забруднення середовища, тому вони можуть слугувати адекватними біомаркерами у системі моніторингу за станом середовища.

UDC 582.296.32:635.15 (477.60)

INDICATION OF TECHNOGENIC ENVIRONMENTAL POLLUTION WITH THE HELP OF MOSSES

O.Z. Hlukhov¹, O.V. Mashtaler²

Donetsk Botanical Gardens, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Donetsk National University

For the first time species composition of bryophytes is determined in ecotopes of technogenously transformed environment of the Ukrainian south-east. *Bryum argenteum* Hedw. and *B. caespiticium* Hedw. moss species are chosen as perspective test-species for integral local monitoring. It is revealed that *B. argenteum* accumulates more pollution elements as compare to *B. caespiticium*. Correlative relations between soil heavy metal pollution and the content of the correspond elements in gametophytes of mosses are determined. It is established that development of mosses in ecotopes of thechnogenously transformed environment is a rather informative indicator of the environment pollution. So mosses can serve as adequate bio-marcers in the system of the environment state monitoring.