

УДК 628.516:54

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОГЛИНАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ РОСЛИННИМИ ТКАНИНАМИ В СИСТЕМІ ҐРУНТ–РОСЛИНА

Л. Рубльова, Т. Зубцова, О. Побережняк

*Донецький національний технічний університет,
пр. Б. Хмельницького, 106, 83015 Донецьк, Україна,
e-mail: rubl2004@list.ru*

Досліджено вміст металів у системі ґрунт–рослина. Це дає змогу оцінити характер їхньої міграції та перерозподілу, накопичення в окремих органах рослин і горизонтах ґрунтів, виявити структурні та функціональні особливості різних ґрунтів та видів рослин. Досліджено кількісні закономірності впливу на поглинальну здатність рослин складу ґрунтів за важкими металами з залученням методів математичного моделювання. Визначено специфічні характеристики поглинання окремих металів живими тканинами на прикладі пирію звичайного.

Ключові слова: важкі метали, коефіцієнт біологічного поглинання, синергічний ефект, симбатна (антибатна) залежність, математичне моделювання.

Інтенсивний процес урбанізації зумовив низку екологічних проблем, що пов'язані з різким погіршенням якості міського середовища. Це потребує індикації та об'єктивної оцінки його теперішнього стану. Суттєвою проблемою великих промислових центрів є забруднення природних об'єктів важкими металами (ВМ). Надходження ВМ до ґрунтового покриву визначає можливість подальшої їх міграції, доступність для рослин, потенційну загрозу живим організмам, у тому числі й людині. Дослідження вмісту металів у системі ґрунт–рослина дає змогу оцінити характер їхньої міграції та перерозподілу, накопичення в окремих органах рослин і горизонтах ґрунтів, виявити структурні та функціональні особливості різних ґрунтів та видів рослин. Комплексна оцінка і моніторинг діагностичних показників ґрунтового-рослинного покриву під антропогенно-техногенним впливом допомагає визначити оптимальні і критичні значення характеристик, що необхідні для підтримки нормального функціонування урбосистем та ухвалювати своєчасні рішення щодо їхньої стійкості та відновлення.

Сьогодні в літературі багато відомостей щодо вмісту важких металів у ґрунтах і біосистемах. Однак ця інформація абсолютно не систематизована, її розглядають лише на якісному рівні, нема спробів будь-якого моделювання, наведені висновки часто суперечливі. Здебільшого, автори звертають увагу тільки на рухомі форми ВМ [1–5], що не є цілком коректним. Адже значна частина токсикантів перебуває в природних екосистемах у диспергованому стані, що, однак, зовсім не зменшує їхньої токсичності [6, 7]. Дуже мало уваги приділяють механізмам фізіологічного захисту рослин. Нема стандартів нормування стану міських ґрунтів, а ті, що є, мають низку недоліків і побудовані на необґрунтованих показниках [4]. Практично нема даних щодо сумарного впливу декількох металів, хоча саме ця проблема, з огляду на якісний склад ґрунтів, є найгострішою.

Проте поліелементне забруднення ґрунтів значно впливає на загальні закономірності геохімічної поведінки окремих ВМ [8, 9]. Унаслідок цього біохімічна поведінка полутантів може помітно відрізнятися за їхньої одночасної наявності в ґрунті для окремих співвідношень концентрацій. Саме це зумовлює потребу дослідження взаємодії різних металів у системі ґрунт–рослина і виявлення особливостей прояву подібних ефектів на поглинання живими тканинами.

Раніше [10] ми дослідили валовий вміст окремих важких металів першого–третього класів небезпеки у ґрунті та рослинах (пирій звичайний) Ворошиловського р-ну м. Донецька. Оцінено ступінь забруднення ґрунту щодо ГДК і значення сумарного показника концентрації. Для оцінки поглинальної здатності обраних металів визначено їхні коефіцієнти біологічного поглинання K_6 . Серед основних ВМ-забруднювачів ґрунту виділено чотири метали (Pb, Zn, Cu, Ni). Визначено, що на урбаноземах центральної частини промислового міста для Cu фіксують головно бар'єрний тип поглинання, а для Cd простежено перевищення вмісту ВМ в рослинах порівняно з ґрунтовими зразками.

Ми пропонуємо оцінити взаємозв'язок одночасного надходження двох ВМ у рослини. Фітотоксична дія ВМ виявляється, зазвичай, у разі високого рівня техногенного забруднення ними ґрунтів і багато в чому залежить від властивостей і особливостей поведінки конкретного металу. Проте в природі йони металів зрідка трапляються ізольовано один від одного. Тому різноманітні комбінативні поєднання й концентрації різних металів у довкіллі призводять до змін властивостей окремих елементів унаслідок їхньої синергетичної або антагоністичної дії на живі організми. Як наслідок, сумарний токсикологічний ефект від забруднення навколишнього середовища ВМ залежить не тільки від набору і рівня вмісту конкретних елементів, а й особливостей їхньої взаємної дії на біоту [2, 4, 8].

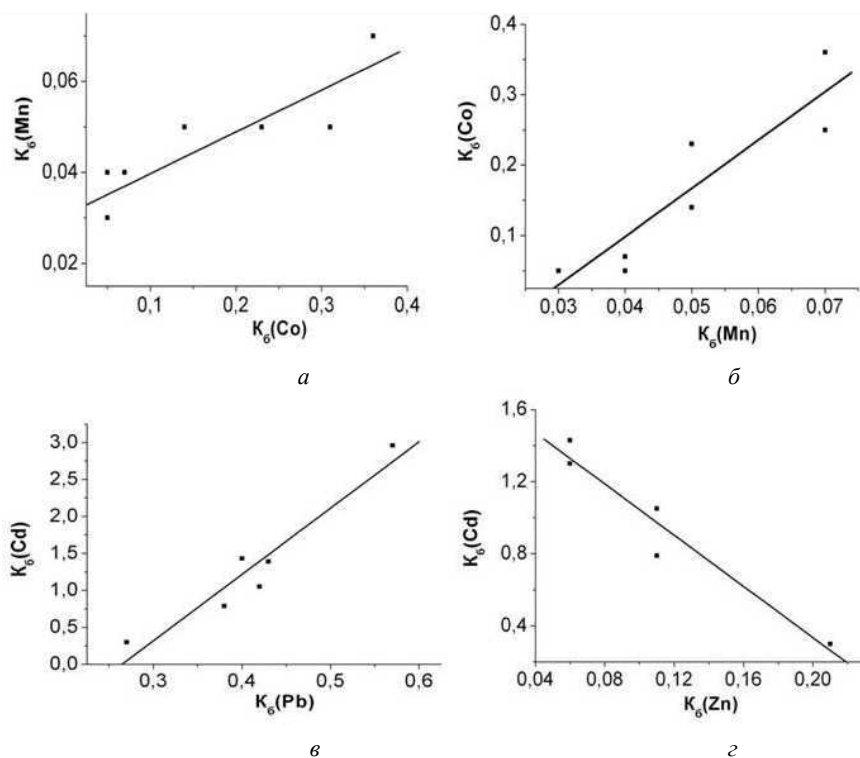
На рисунку показано приклади взаємозв'язків між коефіцієнтами біологічного поглинання окремих металів згідно з розрахунковими значеннями, які ми отримали раніше (див. таблицю) [10].

Результати регресійного аналізу засвідчують відсутність однозначної залежності між поглинальною здатністю різних металів у бінарних системах. Зафіксовано як збільшення поглинальної здатності одного ВМ залежно від аналогічного показника для іншого металу (Pb–Zn, Cu–Zn, Co–Ni, Cd–Pb, Cd–Cu, Co–Mn), так і зменшення коефіцієнта біологічного поглинання Me_1 залежно від $K_6(Me_2)$ (Ni–Cu, Cd–Zn, Ni–Zn, Co–Pb).

Система Mn–Co (див. рисунок, *a*) демонструє практичну відсутність залежності (див. таблицю, $b = 0,102$), тобто поглинальна здатність Мангану не залежить від $K_6(Co)$. І навпаки, відносно поглинання Mn є визначальним чинником щодо здатності рослин накопичувати Кобальт (див. таблицю, $b = 5,71$), тобто накопичення Mn у тканинах рослин зумовлює різке збільшення біологічного надходження сполук Co (можливо, тут реалізується синергетичний ефект) (див. рисунок, *b*).

Для систем Pb–Zn, Cu–Zn, Co–Ni, Co–Cu, Cd–Cu виявлено подібні закономірності: поглинання Me_1 сприяє збільшенню поглинання Me_2 . Проте коефіцієнт b коливається в межах 2–3, що характеризує, ймовірно, симбатні залежності.

Особливий інтерес становлять пари Cd–Pb, Cd–Cu (див. таблицю, рисунок, *в*), у яких Плюмбум і Купрум у рослинах суттєво сприяють поглинанню Кадмію біологічними тканинами.



Взаємозв'язок між K_6 в біметалевій системі: Mn-Co (а), Co-Mn (б), Cd-Pb (в), Cd-Zn (г).
Статистичні характеристики залежності K_6 (ВМ) = $f(K_6$ (ВМ)): $R = 0,96-0,98$; $S = 0,03-0,59$

Параметри залежності $K_6(\text{Me}_1) = a + b K_6(\text{Me}_2)$ у біметалевій системі

Me ₁	Me ₂	Параметр b	R	S	N
Pb	Zn	$3,57 \pm 0,70$	0,906	0,22	7
Cu	Zn	$1,82 \pm 0,68$	0,959	0,06	7
Co	Ni	$2,13 \pm 0,42$	0,912	0,81	6
Co	Cu	$3,05 \pm 0,67$	0,904	0,04	8
Cd	Cu	$26,5 \pm 3,26$	0,934	0,72	7
Cd	Pb	$8,97 \pm 0,91$	0,957	0,66	7
Co	Mn	$5,71 \pm 1,09$	0,900	0,16	7
Mn	Co	$0,102 \pm 0,02$	0,890	0,33	8
Ni	Cu	$-3,53 \pm 0,68$	0,949	0,37	6
Ni	Zn	$-1,73 \pm 0,30$	0,967	0,29	6
Co	Pb	$-1,46 \pm 0,13$	0,939	0,35	7
Cd	Zn	$-7,10 \pm 1,14$	0,899	0,24	8

Примітка: b – параметр чутливості біологічного поглинання Me_2 залежно від цього фактора для Me_1 ; R – коефіцієнт кореляції; S – дисперсія; N – кількість експериментальних точок.

У цьому разі необхідно враховувати, що основний потік сполук Кадмію надходить у рослини фоліарно [10, 11]. Отже, розкривається той факт, що надходження Cd (важкий метал першого класу небезпеки) стимульоване вмістом у тканинах сполук Cu^{2+} з ґрунту (див. таблицю, $b = 26,5$). Над цим варто замислитися, враховуючи те, як часто мідний купорос використовують для обробки зелених частин рослин.

Взаємозв'язок між поглинальною здатністю Cd і Zn цікавий наявністю антибатної залежності з високим коефіцієнтом чутливості (див. таблицю, $b = -7,10$; рисунок, з), що узгоджується з [10], де значення $K_6(\text{Cd})$ прямо залежить від наявності низки ВМ у рослинах. Це означає, що накопичення Цинку в рослинних організмах супроводжується різким зменшенням валового вмісту Кадмію в них, що само по собі вже становить інтерес.

Отже, методи математичного моделювання можна застосувати для прогнозування вмісту ВМ у біологічних тканинах залежно від низки чинників: типу ґрунту, його якісного складу, взаємного впливу елементів-токсикантів на поглинальну здатність рослин. Це допоможе в розробці методів, здатних не тільки передбачати, а й практично корегувати вміст особливо небезпечних елементів у живих клітинах.

Однак проблему, яку поставлено, неможливо вирішити простими визначеннями концентрацій металів у субстраті та рослинних організмах. Треба визначити пріоритетні шляхи проникнення ВМ у біологічні тканини, а також кліткові структури, які спроможні накопичувати та утримувати метали в різній формі досить тривалий час. Тобто треба виявити механізми, що відповідають за і забезпечують опір та захист рослин від негативного впливу ВМ довкілля. Наведені попередні результати дослідження вже на цьому етапі досить цікаві, бо на цій підставі можна запропонувати методи захисту рослин від найтоксичніших ґрунтів.

1. *Крамарев С.М.* Экологические и гигиенические проблемы загрязнения подвижными металлами почвы промышленных агломераций // Довкілля і здоров'я. 2004. Січень–березень. С. 24–27.
2. *Білецька Е.М., Риженко С.А.* Досвід еколого-гігієнічної оцінки вмісту важких металів в об'єктах довкілля у зв'язку з техногенним забрудненням промислового міста // Гігієна населених місць. 2003. № 4. С. 373–376.
3. *Биндич Т.Ю.* Вплив забруднення ґрунту важкими металами на міграцію окремих елементів // Агрохімія і ґрунтознавство. 1998. Вип. 59. С. 36–38.
4. *Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К.* Эколого-аналитический мониторинг суперэкоотоксикантов. М.: Химия, 1996.
5. *Грищенко С.В., Степанова М.Г., Коровина В.П.* Комплексная гигиеническая оценка загрязнения почв населенных мест Донецкой области // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2006. Т. 5. № 2. С. 168–171.
6. *Добровольский В.В.* Основы биогеохимии: учебник для студентов ВУЗов. М.: Изд. центр "Академия", 2003.
7. *Башкин В.Н.* Биогеохимия. М.: Научный мир, 2004.
8. *Стожаров А.Н.* Медицинская экология: учебное пособие. Минск: Высшая школа, 2007.
9. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука, 1991.

10. Рублева Л.И., Зубцова Т.И., Побережняк Е.С. Влияние состава городских почв на накопление тяжелых металлов в биологических объектах на территории индустриального центра // *Вопр. химии и хим. технологии*. 2008. № 6. С. 171–176.
11. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. *Геохимия окружающей среды*. М.: Недра, 1976.

MATHEMATICAL MODELING OF THE ABSORPTION ABILITY OF HEAVY METALS BY VEGETABLE TISSUES IN A SOIL-PLANT SYSTEM

L. Rublova, T. Zubtsova, O. Poberezhnyak

*Donetsk National Technical University,
B. Khmel'nitskogo Av., 106, 83015 Donetsk, Ukraine,
e-mail: rubl2004@list.ru*

The content of metals in a soil-plant system is investigated. It allows to estimate the character of migration and redistribution of heavy metals and their accumulation in some plant's organs and horizons of soils. The structural and functional peculiarities of various soils and kinds of plants are exposed. The quantitative regularities of influence of heavy metal content in soils structure on the absorption ability of plants by methods of the mathematical modeling are studied. The specific characteristics of the absorption of some metals by biological tissues on *Agropyrum repens* are defined.

Key words: heavy metals, coefficient of biological absorption, synergetic effect, simbat (antibat) dependence, mathematical modeling.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТИТЕЛЬНЫМИ ТКАНЯМИ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ

Л. Рублёва, Т. Зубцова, Е. Побережняк

*Донецкий национальный технический университет,
пр. Б. Хмельницкого, 106, 83015 Донецк, Украина,
e-mail: rubl2004@list.ru*

Исследовано содержание металлов в системе "почва-растение", что позволяет оценить характер их миграции и перераспределения, накопления в отдельных органах растений и горизонтах почв, выявить структурные и функциональные особенности различных почв и видов растений. Изучено количественные закономерности влияния на поглотительную способность растений состава почв относительно тяжелых металлов с использованием методов математического моделирования. Определены специфические характеристики поглощения отдельных металлов живыми тканями на примере пырея обыкновенного.

Ключевые слова: тяжелые металлы, коэффициент биологического поглощения, синергический эффект, симбатная (антибатная) зависимость, математическое моделирование.

Стаття надійшла до редколегії 31.05.2011

Прийнята до друку 21.12.2011