УДК 635.7:504.054

О.Л. Жигайло, *канд. геогр. наук*

Одеський державний екологічний університет

КОНТРОЛЬ ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ БАГАТОРІЧНИХ ТРАВ НА ЗРОШУВАНИХ ЗЕМЛЯХ ОДЕЩИНИ

За допомогою методу математичного моделювання забруднення сільськогосподарських культур важкими металами проведено розрахунки і дана оцінка продуктивності та екологічної чистоти багаторічних трав на прикладі люцерни посівної.
Ключові слова: *важкі метали, ртуть, кадмій, зрошувальні води, мінералізація, люцерна посівна.*

Постанова проблеми. Україна – великий європейський регіон з дуже високою концентрацією промислових, хімічних, енергетичних та інших виробництв, значним рівнем аграрного освоєння земель (70%), широким використанням водних й хімічних меліорацій.

Агроекологічні системи, що стали невід'ємною складовою частиною сучасної біотехносфери, зазнають постійної техногенної дії, підпадають під вплив різних джерел забруднення локального, регіонального і глобального характеру. Посилення хімізації сільського господарства зумовлює поступове накопичення важких металів у ґрунті. В землеробстві України за останні 10-15 років об'єм вживання органічних і мінеральних добрив і різних пестицидів зріс в 1,5-1,8 разу, що спричинило хімічне і біологічне забруднення ґрунтів і водних джерел [4].

Токсичні елементи в умовах сільської агломерації можуть надходити в ґрунт при поливі, тому що вода, яка використовується в цих цілях, часто містить підвищену їх концентрацію. Також джерелом важких металів може бути фосфогіпс, який вноситься на поля при іригації для попередження осолонцювання ґрунтів. В умовах зрошення норми мінеральних добрив зростають практично у 2 рази, а вони в свою чергу можуть бути виготовлені з неякісної сировини. Ця обставина робить необхідною організацію постійного моніторингу забруднення ґрунтово-рослинного покриву на зрошуваних землях [1,2,6].

Для одержання придатної в їжу продукції рослинництва необхідно грамотно вирішувати питання її вирощування. Необхідно враховувати якість зрошувальних вод та мінеральних добрив, міграцію і накопичення найбільш небезпечних для життєдіяльності важких металів в різних агрофітоценозах. Це, у свою чергую, залежить і від типу ґрунту, і від виду рослин, і від кліматичних умов, в яких вони вирощуються, а також від агротехнічних та меліоративних заходів.

Екологічна ситуація, яка складається в цей час, потребує ретельного контролю, оцінки й прийняття конструктивних рішень по стабілізації ситуації в агропромисловому комплексі.

Основна мета досліджень – провести контроль забруднення важкими металами багаторічних трав (на прикладі культури ***Medicago sativa L.***) в умовах зрошення чорноземів південних водами Дунай-Дністровської зрошувальної системи.

Материали та методи дослідження. Теоретичною основою для проведення контролю є динамічна модель забруднення сільськогосподарських культур важкими металами [3,7]. Основні концептуальні положення такі:

- ріст й розвиток рослин визначається генотипом і факторами зовнішнього середовища;

- моделюється ріст рослин (накопичення сухої біомаси) шляхом розподілу продукту фотосинтезу та поглинених елементів мінерального живлення з урахуванням потреби для росту в асимілятах надземної та підземної частин рослин;
- моделюються радіаційний та водно-тепловий режими системи «ґрунт-рослина-атмосфера»;
- моделюється мінеральне живлення рослин;
- моделюються засолення та осолонцювання ґрунтів;
- моделюється кореневе засвоєння важких металів рослинами та їх розподіл між окремими органами рослин.

Процес формування урожаю, його кількості та екологічної чистоти люцерни посівної розглядається як складна сукупність синтезу, розпаду, взаємоперетворення основних компонентів біомаси, швидкості накопичення рослинами забруднюючих речовин.

Під кількістю урожаю розуміємо накопичення зеленої біомаси люцерни, під екологічною чистотою – вміст в зеленій масі важких металів.

Природно-фізична система «ґрунт-рослина-атмосфера» в моделі подана трьома основними частинами.

Перша частина системи – вхід, якій містить характеристики зовнішнього середовища: географічні (широта місця); кліматичні (сонячне сяяння, температура повітря та ґрунту, опади, вологість повітря); ґрунтові (глибина залягання ґрунтових вод, загальні запаси вологи в ґрунті, найменша вологоємність, вологість стійкого в'янення, азот, який легко гідролізується, рухливі фосфор і калій, вміст солей у водній витяжці, натрієво-кальцієвий потенціал); біологічні (фази розвитку, період вегетації), антропогенні (зрошувальні води, фосфогіпс, мінеральні добрива).

Друга частина представляє внутрішню структуру системи, яка описується системою рівнянь радіаційного, теплового та водного балансів, балансу біомаси та важких металів у рослинному покриві, рівняннями засолення та осолонцювання ґрунтово-рослинного покриву, а також мінерального живлення.

Основні рівняння моделі. Показником росту біомаси (ΔM) є приріст за розрахунковий період часу Δt. При визначенні приростів біомаси у цій моделі враховуються основні фізіологічні процеси – фотосинтез (Φ^j) та дихання (R^j), а також вплив процесів мінерального живлення $\{K^j_{NPK}\}$, осолонцювання $\{K^j_{Na-Ca}\}$, засолення $\{K^j_S\}$ та вмісту важких металів $\{K^j_{в.м.}\}$ на продуційний процес рослин

$$\frac{\Delta M^j}{\Delta t} = (\Phi^j - R^j)\min\{K^j_{NPK}, K^j_{Na-Ca}, K^j_S, K^j_{в.м.}\}. \qquad (1)$$

Опис швидкості зміни вегетативної надземної маси протягом періоду відновлення вегетації - утворення суцвіть визначається системою рівнянь

$$\begin{cases} m_l^{j+1} = m_l^j + (\beta_l^j \dfrac{\Delta M}{\Delta t} - \vartheta_l^j m_l^j) n^j \\ m_s^{j+1} = m_s^j + (\beta_{sp}^j \dfrac{\Delta M}{\Delta t} - \vartheta_s^j m_s^j) n^j \end{cases}, \qquad (2)$$

де m_l, m_s - загальна суха біомаса листків та стебел; β_l, β_s - функції розподілу «свіжих»,наново створених асимілятів; ϑ_l, ϑ_s - функції розподілу «старих» асимілятів, що були раніше запасені; n - кількість днів.

Вплив забезпечення елементами мінерального живлення на продуційний процес рослин визначається в моделі за принципом Лібіха з врахуванням функції забезпечення (K_{NPK}) азотом (N), фосфором (P) і калієм (K):

$$K_{NPK} = \min_{Y \in N,P,K} \{K_Y\}. \tag{3}$$

Значення функції оптимальності азотного, фосфорного та калійного живлення розраховується з рівняння

$$K_Y = \left(\frac{Y}{Y_{opt}}\right)^{1.35} \ell^{1.1\left(1-\frac{Y}{Y_{opt}}\right)}, \tag{4}$$

де Y – сумарна кількість N, P_2O_5, K_2O (внесених з добривами та вміщених в ґрунті), еквівалентна добриву, яке вживається, кг/га; Y_{opt} – оптимальна кількість N, P_2O_5, K_2O, необхідна для максимального врожаю, забезпеченого ресурсами світла, тепла та вологи, кг/га.

Вплив осолонцювання ґрунту на формування врожаю сільськогосподарських культур враховується за допомогою функцій впливу рівня натрієво-кальцієвого потенціалу ґрунту на приріст рослинної маси

$$\mathrm{K}^j_{Na-Ca} = 1 - (0.31 P^{гр(j)}_{Na-Ca} - 0.4)\mu^j \mathrm{T}SI^j n^j \tag{5}$$

де K^j_{Na-Ca} – функція впливу натрієво-кальцієвого потенціалу ґрунту на приріст сухої біомаси цілої рослини; $P^{гр(j)}_{Na-Ca}$ – натрієво-кальцієвий потенціал ґрунту; μ^j – потенційна інтенсивність росту рослин; $TS1$- середня за декаду ефективна температура; n – кількість днів у розрахунковій декаді.

Зниження продуктивності рослин під впливом засолення ґрунту розраховується за допомогою функції впливу міри засолення ґрунту на приріст біомаси рослин:

$$K^j_S = 1 - q_S(S^j_{гр} - S^{крит}_{гр})\mu^j TS1^j n^j, \tag{6}$$

де K^j_S – функція впливу вмісту солей у ґрунті на приріст біомаси рослин; q_s – зниження приросту біомаси на одиничний приріст засолення; $S_{гр}$ – вміст солей у водній витяжці ґрунту; $S^{крит}_{гр}$ –критичний рівень засолення.

Рівень антропогенного забруднення ґрунту та рослин важкими металами визначається з урахуванням їх фітотоксичного впливу за допомогою коефіцієнта фітотоксичності $K^j_{в.м.}$

$$K^j_{в.м.} = \min_{q \in Cd,Cu,Hg,Pb,Sr,Zn,} \{K^j_q\}, \tag{7}$$

кожний з яких визначається з виразу

$$K^j_q = 1 - \left(\frac{\mu^{крит}_{A_q}}{\overline{A}^{крит.2}_q - \overline{A}^{крит.1}_q}\right) \cdot \overline{A}^{рос\ j}_q, \tag{8}$$

де $\mu_{A_q}^{крит}$ – зниження продуктивності рослин в інтервалі критичних величин концентрації важких металів в рослині $\overline{A}_q^{крит.1}$ и $\overline{A}_q^{крит.2}$.

Третя частина – вихід, який є результатом діяльності системи, має вихідну інформацію у вигляді кількісних показників (продуктивність, урожайність) та екологічної чистоти урожаю (концентрація важких металів у рослинної масі).

Робота виконана на основі агрокліматичних і агроекологічних даних по Одеській області.

Аналіз результатів досліджень. В роботі були проведені розрахунки зміни кількості й екологічної чистоти врожаю люцерни при різній якості зрошувальних вод і вмісті важких металів (ртуті та кадмію) в ґрунті.

Розрахунки проведені за таким сценарієм:

1) І тип води - мінералізація добра для зрошення и становить 0,4 г/л, ІІ тип - потребує обережного застосування (1,0 г/л), ІІІ тип - не придатна для зрошення (1,5 г/л);
2) вміст в ґрунті ртуті й кадмію: а) становить 0,003 й 1,65 мг/кг ґрунту; б) досягає 0,03 й 16,5 мг/кг ґрунту відповідно;
3) зрошувальна норма змінюється від 500 до 3500 м^3/га, з інтервалом в 500 м^3/га.

Погодні умови, що складаються в період вегетації люцерни, характерні для середньобагаторічного року на території, яка досліджується в цій роботі.

Характеристика ґрунту: чорнозем південний, потужність ґумусового горизонту – 55…75 см, вміст гумусу - 2,1-3,9 %, сума поглинених основ -27,9…37,9мг·екв/100г ґрунту, ступінь насиченості ґрунтів основами - 98 -99 %, рухливі форми: азоту - 5,1…11,4, фосфору - 6,5…12,9, калію - 8,4…13,4 мг/100 г ґрунту.

Варіант 1.

- Мінералізація зрошувальної води - 0,4 г/л.
- Забруднення ґрунту ртуттю 0,003 і 0,03; кадмієм 1,65 і 16,5 мг/кг.

Числові розрахунки концентрації важких металів у зеленій масі люцерни в залежності від зрошувальної норми подані в табл.1. З таблиці видно, що найбільша концентрація важких металів в рослинах спостерігається при мінімальній зрошувальній нормі. При збільшенні кількості води, що подається на посіви люцерни, забруднення рослин зменшується. При зрошувальній нормі 3500 м^3/га концентрація ртуті знижується практично в 2 рази, кадмію - в 2-5 разів.

Варіант 2.

- Мінералізація зрошувальної води: 0,4; 1,0; 1,5 г/л.
- Концентрація ртуті: 0,003 й 0,03 мг/кг.

Ртуть (Hg) легко поглинається кореневою системою й переноситься в самій рослині. Шкідливий вплив ртуті виявляється на порушенні різних метаболічних процесів, у тому числі фотосинтезу, утворення хлорофілу, газового обміну й дихання [5].

Розрахунки забруднення люцерни ртуттю в умовах зрошення водами різної якості представлено на рис. 1. Аналіз даних показав, що при мінералізації води 0,4 г/л урожайність найбільша в обох випадках забруднення, найбільші втрати

врожайності відбуваються при підвищеному вмісті ртуті в ґрунті до 0,43 мг/кг сухої маси. Втрати урожаю в цьому випадку становлять приблизно 20%.

Кількість урожаю при максимальній мінералізації води (1,5г/л) і вмісті ртуті 0,03мг/кг, при зрошувальній нормі 3500 м^3/га становить 298,5 ц/га, майже такого ж урожаю можливо очікувати при добрій якості води (мінералізація - 0,4 г/л), але при зрошувальній нормі в 2,5 рази меншій (298,3 ц/га).

Таблиця 1 – Залежність концентрації важких металів у зеленій масі люцерни посівної (*Medicago sativa L.)* від умов зволоження. Одеська область

Концентрація важких металів в чорноземах південних, мг/кг	ЗРОШУВАЛЬНА НОРМА, м^3/га						
	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Концентрація ртуті (Hg) в рослинах, мг/кг сухої маси							
0,003	0,0410	0,0396	0,0361	0,0312	0,0262	0,0221	0,0172
0,03	0,430	0,413	0,383	0,326	0,275	0,232	0,179
Концентрація кадмію (Cd) в рослинах, мг/кг сухої маси							
1,65	2,27	1,95	1,59	1,25	1,04	0,52	0,41
16,5	30,94	26,61	21,66	17,02	14,23	7,12	5,57

Варіант 3.

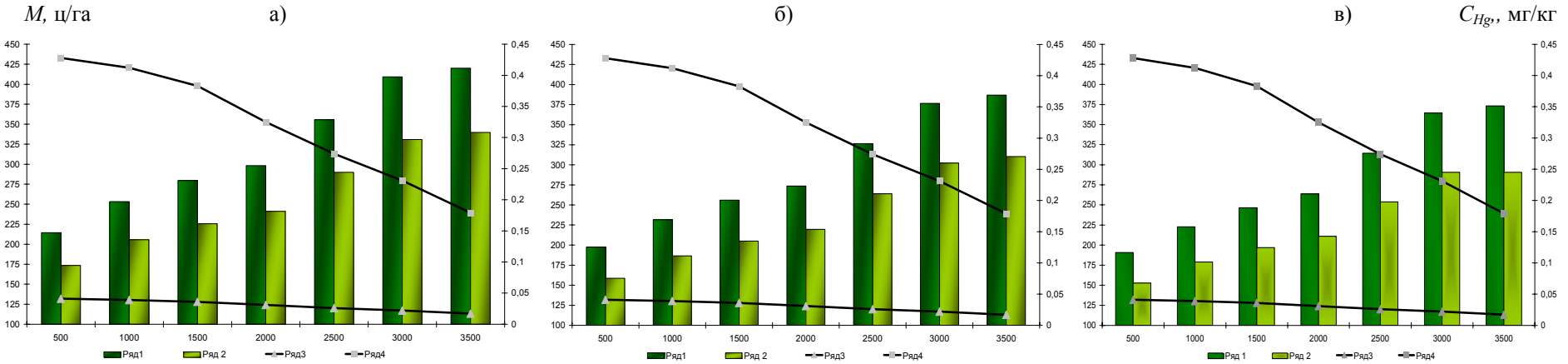
- Мінералізація зрошувальної води: 0,4; 1,0; 1,5 г/л.
- Концентрація кадмію: 1,65 й 16,5 мг/кг.

Значна концентрація кадмію в рослинах, яка наближається або досягає гранично допустимої концентрації, негативно відбивається на продуктивності первинного біологічного продукту. Урожай може знижуватися через гальмування процесів життєдіяльності рослин до 30% і більше. При цьому екологічна чистота такого врожаю так само не відповідає санітарним нормам і одержувана продукція повинна бути переглянута й визначені заходи щодо запобігання потрапляння цієї продукції в раціон харчування тварин [5].

Розрахунки забруднення люцерни кадмієм представлено на рис.2. З рисунку видно, що при мінералізації води 0,4 г/л, урожайність найбільша в обох випадках забруднення, однак, найбільші втрати врожайності спостерігаються при підвищеному вмісті кадмію в ґрунті (16,5 мг/кг), до 36 % урожаю гине.

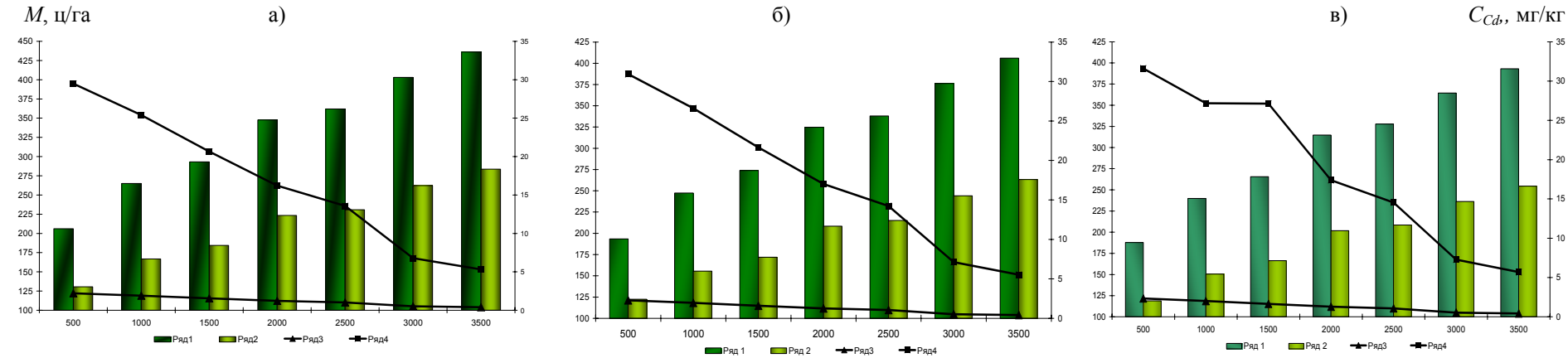
Кількість урожаю при максимальній зрошувальній нормі (3500 м^3/га) у випадку забруднення ґрунту при підвищеній мінералізації води - 1,5 г/л і концентрації кадмію 16,5мг/кг становило 254,5ц/га, майже такого ж урожаю можливо очікувати при мінералізації води 0,4 г/л, при зрошувальній нормі 1000 м^3/га (264,9 ц/га).

Висновки. Вирощування багаторічних трав в умовах зрошення високо мінералізованими водами й забруднення ґрунтів важкими металами, вміст яких понад ГДК, призводять до втрати 20…36 % урожаю. Однак цього можливо уникнути, якщо раціонально скласти норму та термін вегетаційного поливу й зрошувальної норми в цілому.



Ряд1й 2 – біомаса люцерни (*M*, ц/га); ряд 3 й 4 - концентрація ***Hg*** у зеленій масі (C_{Hg}, мг/кг). Якість зрошувальної води а) I тип ; б) II тип; в) III тип.

Рис. 1 - Залежність продуктивності та екологічної чистоти зеленої маси люцерни від вмісту ртуті (Hg) в ґрунті при різноманітному зволоженні й якості зрошувальної води.



Ряд1й 2 – біомаса люцерни (*M*, ц/га); ряд 3 й 4 - концентрація ***Cd*** у зеленій масі (C_{Cd}, мг/кг). Якість зрошувальної води а) I тип; б) II тип; в) III тип.

Рис. 2 - Залежність продуктивності та екологічної чистоти зеленої маси люцерни від вмісту кадмію (Cd) в ґрунті при різноманітному зволоженні й якості зрошувальної води.

Одержані дані рекомендується використовувати для оптимізації зрошуваних норм з ціллю зниження концентрації важких металів в зеленій масі люцерни.

Список літератури

1. *Балюк С. А., Головина Л.П., Носоненко А.А.* Тяжелые металлы в орошаемом земледелии Украины / Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах (материалы научно-практической конференции). - М.: РАСХН, 1994.- С. 66 – 71.
2. *Жигайло Е. Л., Вольвач О.В.* Агроекологическая оценка загрязнения агрофитоценозов тяжелыми металлами// Метеорологія, кліматологія та гідрологія.- 2004.- Вип. 48. – С. 242-247.
3. *Жигайло Е. Л.* Оценка антропогенного загрязнения сельскохозяйственных культур в Украине. // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. – 2008.- № 3 (7). – С. 73 - 80.
4. *Жовинский Э.Я., Кураева И.В.* Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. - К.: Наукова думка, 2002.- 213с.
5. *Кабате-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
6. *Кулибабин А.Г., Незвинский А.Ф., Кичук И.Д.* Эколого-экономические аспекты орошения и рационального природопользования в зоне Дунай-Днестровской оросительной системы Одесской области. – Одесса: Укр. экологическая академия наук, 1997. - 85 с.
7. *Полевой А.Н., Хохленко Т.Н.* Моделирование формирования урожая сельскохозяйственных культур в условиях орошения черноземов придунайской провинции // Почвоведение. – 1995. - № 12. – С. 1518 –1524.

Контроль загрязнения тяжелыми металлами многолетних трав на орошаемых землях Одещины
Жигайло О.Л
С помощью метода математического моделирования загрязнения сельскохозяйственных культур тяжелыми металлами проведены расчеты и дана оценка продуктивности и экологической чистоты многолетних трав на примере люцерны посевной.
Ключевые слова: *тяжелые металлы, ртуть, кадмий, орошаемые воды, минерализация, люцерна посевная.*

The control for lasting grass heavy metals contamination in the Odessa Province irrigation land
Zhigailo E.
The calculation and estimation of lasting grass productivity and ecological purity on the pattern of Lucerne have been made with the help of mathematical modeling of agricultural crop heavy metals contamination.
Key words: *heavy metals, mercury, cadmium, irrigating water, mineralization, Lucerne.*