

Cadmium distribution in soils of Dnipropetrovsk oblast and its accumulation in crop production

V.I. Chorna¹, N.V. Voroshylova¹, V.A. Syrovatko²

¹Dniprovsk State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

²Branch of the State Institution «Institute for the Protection of Soils of Ukraine», Dnipro, Ukraine

Email: Khlyzina@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-8815-130X>

<https://orcid.org/0000-0003-1434-3285>

Received: 10.02.2018 Accepted: 15.03.2018

The challenge of environmental pollution by various chemicals occurs during assessment of pollutants accumulation in agricultural plants and influence of soil factors on this process and identification of fundamental mechanisms of heavy metals migration in the soil-plant system; heavy metals hold a special place among such pollutants. Danger of heavy metals entering in environment is determined by the fact that heavy metals do not degrade unlike organic pollutants, but can transform from one form to another. Contamination assessment of soil and agricultural plants by heavy metals (Cd) in the territory of Dnipropetrovsk region was conducted on 29 monitoring sites located on two soil types: ordinary chernozem and south ordinary chernozem. Cadmium intake from soil was studied on the main crops: grains and straw of wheat; and sunflower seed. Cadmium content was determined by the technique of atomic absorption spectrometry. Density of probability distribution on cadmium concentrations in soils and crop production was obtained by statistical modeling according to logarithmically normal distribution. It was established that only 3 components are distinguished within integral curve of probability distribution density on cadmium distribution in soil with the following sequence: ordinary chernozem, southern ordinary chernozem, and areas influenced pollution exposures of various degree. It has been established within the region that 23% of wheat grain crop have excess cadmium content. Secondary products (straw) have similar characteristics, but with higher average values and higher variability. It was established that 4 components are distinguished within integral curve of probability distribution density on sunflower seed with adequate mean values: Root system of the investigated plants performs a protective function, which inhibit cadmium transport in aboveground part of plants and its accumulation in generative and reproductive organs. Biological features of plants, along with the agrochemical properties of soil, can be attributed to the main factors that influence Cd transition from soil to agricultural plants.

Key words: heavy metals, fertility, soil, agricultural crops

Розподіл кадмію в ґрунтах Дніпропетровської області та його акумуляція в продукції рослинництва

В.І. Чорна¹, Н.В. Ворошилова¹, В.О. Сироватко²

¹Дніпровський державний

аграрно-економічний університет, м.Дніпро, Україна

²Дніпровська філія Державної установи «Інститут з охорони ґрунтів України», м.Дніпро, Україна

Email: Khlyzina@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-8815-130X>

<https://orcid.org/0000-0003-1434-3285>

Проблема забруднення середовища різними хімічними речовинами, особливе місце серед яких мають важкі метали, проявляється при оцінці накопичення поллютантів у сільськогосподарських рослинах і впливу на цей процес ґрунтового фактору та виявлення основних закономірностей міграції важких металів в системі ґрунт – рослина. Небезпека надходження в довкілля важких металів визначається тим, що на відміну від органічних забруднювачів вони не руйнуються, а переходять з однієї форми в іншу. Оцінку рівнів забруднення ґрунтів і сільськогосподарських рослин важкими металами (Cd) на території Дніпропетровської області проведено на ділянках, які розташовані на двох типах ґрунтів: чорноземах звичайних і чорноземах південних. Перехід кадмію з ґрунту вивчали на основних сільськогосподарських культурах: зерні та соломі пшениці; насінні соняшника. Вміст кадмію визначали методом

атомно-абсорційної спектрометрії. Щільність розподілу ймовірностей концентрації кадмію в ґрунтах і продукції рослинництва отримали методом статистичного моделювання за логнормальним законом розподілу. Встановлено, що в інтегральній кривій щільності ймовірностей розподілу кадмію в ґрунтах виділено тільки три компоненти з наступною послідовністю: чорнозем звичайний, чорнозем південний і площі, які знаходяться під впливом забруднення. Встановлено, що в зерні пшениці в Дніпропетровській області 23% врожаю мають перевищення вмісту кадмію. Для вторинної продукції (соломи) також спостерігається підвищення концентрації кадмію, але з більш високими величинами середньої та з більшою варіабельністю. В інтегральній кривій щільності ймовірностей розподілу кадмію в насінні соняшника виділено чотири компоненти розподілу з відповідними середніми значеннями. Коренева система досліджуваних рослин виконує захисну функцію, яка є перепорою для транспортування кадмію у надземну частину рослин та накопичення його в генеративних та репродуктивних органах. Біологічні особливості рослин, наряду з агрохімічними властивостями ґрунту, можна віднести до основних факторів, що впливають на перехід кадмію з ґрунту в сільськогосподарські рослини.

Ключові слова: важкі метали, родючість, ґрунт, сільськогосподарські культури.

ґрунт – це система, хімічні складові якою перебувають у постійній взаємодії під впливом внутрішніх та зовнішніх факторів геохімічної міграції (Furdichko, 2014).

Хімічні елементи та їх сполуки знаходяться в ефективних фазах ґрунту (ґрунтовий розчин, ґрунтовий поглинаючий комплекс, ґрунтове повітря, первинні та вторинні матеріали, ґрунтова біота тощо). Взаємозв'язок між цими фазами здійснюється через ґрунтовий розчин шляхом комплексоутворення, іонного обміну, розчинення, осадження, адсорбції та десорбції. Вивчаючи особливості фізико-хімічної міграції елементів та закономірності розподілу у ґрунтах, необхідно базуватись на принципах системного дослідження цілісності, зв'язків, функціонування та розвитку тощо.

Актуальність питання забруднення середовища різними хімічними речовинами, особливе місце серед яких мають важкі метали, проявляється при оцінці накопичення полутантів у сільськогосподарських рослинах і впливу на цей процес ґрунтового фактору та виявлення основних закономірностей міграції важких металів в системі ґрунт – рослина (Kimakovska, 2006).

Стан навколишнього середовища і здоров'я населення залежить від рухливості і біодоступності деяких мікроелементів. Тому поведінка мікроелементів в екосистемах є пріоритетною проблемою сучасної агроєкології. Екологічні програми контролю забруднення ґрунтів мікроелементами і особливо важкими металами на часі є «гарячою» темою для дискусій (Kimakovska, 2006, Furdichko, 2014).

ґрунти – природні накопичувачі важких металів у навколишньому середовищі. Вони є основним джерелом забруднення суміжних середовищ, включаючи вищі рослини. Близько 90% важких металів, що потрапили у довкілля, акумулюються саме ґрунтами. Серед важких металів – забруднювачів ґрунту і рослин в урбо- та агроландшафтах, можна виділити свинець, мідь кадмій та цинк (Furdichko, 2014). Сьогодні мало відомо про механізми накопичення рослинами важких металів, тому що основна увага приділялася засвоєнню із ґрунтів сполук азоту, фосфору та інших елементів живлення.

Важкі метали характеризуються змінною валентністю, низькою розчинністю їх гідроксидів, а також високою здатністю утворювати катіони та комплексні сполуки. Відомо, що до факторів, які сприяють утриманню важких металів ґрунтом відносяться: обмінна адсорбція поверхні глини і гумусу, формування комплексних сполук з гумусом, поверхнева адсорбція гідратованими оксидами амонію, заліза, марганцю, а також формування нерозчинних сполук, особливо при відновленні. Важкі метали, які утримуються органічною і колоїдною частинами ґрунту, уповільнюють процеси нітрифікації, що має важливе значення для родючості ґрунтів (Dobrovolsky, Nikitin, 2012). Важлива роль у циркуляції важких металів у довкіллі належить ґрунтам. При насиченні ґрунту хімічними компонентами, а саме, ксенобіотиками, ґрунт може стати джерелом вторинного забруднення для води, водойм, атмосферного повітря, для кормів тварин і продуктів харчування людини.

Відомо, що важкі метали займають одне з провідних місць серед антропогенних забруднювачів педосфери. Надлишкова їх кількість у різних компонентах біосфери (ґрунті, воді, фітомасі) спричиняє пригнічуючий і навіть токсичний вплив на біоту. Частина органічних сполук, з якими зв'язуються метали, представлена продуктами мікробіологічної діяльності. Наприклад, ртуть характеризується здатністю акумулюватися в ланках «харчового ланцюга».

Небезпека надходження в довкілля важких металів визначається тим, що на відміну від органічних забруднювачів вони не руйнуються, а переходять з однієї форми в іншу, зокрема включаються до оксидів, солей, металоорганічних сполук тощо (Karpachevsky, Zubkova, 2010).

Забруднення ґрунтів важкими металами має одразу дві негативні сторони. По-перше, накопичуючись у ґрунті у великих кількостях, важкі метали здатні змінювати його біологічні властивості: знижується загальна чисельність мікроорганізмів, звужується їх видовий склад, змінюється структура мікробіоценозів, знижується інтенсивність основних мікробіологічних процесів і активність ґрунтових ферментів тощо. По-друге, потрапляючи по харчових ланцюгах з ґрунту в рослини, а потім – в організм тварин і людини, важкі метали спричиняють у них важкі захворювання (Kimakovska, 2006).

Важкі метали мають здатність до акумуляції у ґрунтах високої буферності у значній кількості, погіршуючи стан ґрунтової біоти, знижують урожайність сільськогосподарських культур, впливають на родючість ґрунту.

Під впливом підвищених концентрацій важких металів спостерігається різке зниження активності ферментів: амілази, дегідрогенази, уреази, інвертази, каталази, і навіть чисельності окремих агрономічно цінних груп мікроорганізмів.

При надмірній кількості важких металів у ґрунті зменшується активність метаболічних процесів, відбуваються морфологічні трансформації у структурі репродуктивних органів та інші зміни ґрунтової біоти (Dobrovolsky, Nikitin, 2012). Ступінь пригнічення життєдіяльності мікробіоценозу залежить також від фізіолого-біохімічних властивостей конкретних металів, що забруднюють ґрунт. Токсичний вплив важких металів залежить від набору металів та їх взаємного впливу (антагоністичного, синергічного чи сумарного) на біоту (Furdichko, 2014). Потрапляючи з ґрунту в рослинні організми у надмірних кількостях, важкі метали порушують в них обмін речовин, що позначається на рості і розвитку рослин, особливо на початкових етапах. Саме цю особливість використовують при біотестуванні забрудненого ґрунту для встановлення його фіто токсичності, під якою розуміють зниження тест-функцій, що беруться з рослинного тест-об'єкта на досліджуваному ґрунті, порівняно з контролем.

Кадмій - один із найнебезпечніших токсикантів зовнішнього середовища. У природному середовищі кадмій зустрічається в дуже малих кількостях, саме тому його отруйна дія була виявлена лише недавно. Сполуки кадмію в невеликих кількостях (0,1 мг/кг) містяться в ґрунті, багатьох продуктах, мінеральних добривах, деяких фунгіцидах. Джерелом кадмію є арматура, пофарбована кадмієвими сполуками, пластмаса, яка використовується для машин, обладнання в сільському господарстві і харчовій промисловості. В усьому світі у довілля його викидається приблизно 500 т.

Кадмій майже неможливо вилучити з природного середовища, тому він дедалі більше накопичується в ньому і потрапляє різними способами в харчові ланцюги людей і тварин.

Забруднення ґрунтового покриву кадмієм вважається однією з небезпечних екологічних явищ, оскільки він накопичується в рослинах вище норми, навіть за незначним забрудненням ґрунту (Achasova, 2003).

Особливої уваги заслуговують сполуки кадмію, тому що даний елемент належить до першого класу екологічної небезпеки. Значна частина кадмію осідає на ґрунтах. Збільшенню вмісту кадмію в ґрунті сприяє використання мінеральних добрив, які містять незначні домішки кадмію (Grishko et al, 2012).

Найбільше кадмію ми отримуємо з рослинною їжею. Кадмій легко переходить із ґрунту в рослини, останні поглинають до 70% його з ґрунту і лише 30% - із повітря. Кількість кадмію, що потрапляє до організму людини, залежить не тільки від споживання нею кадмієвмісних харчових продуктів, а й великою мірою від якості її дієти. Зокрема, ферум може суттєво змінити акумуляцію кадмію. Достатня кількість феруму в крові, очевидно, гальмує його акумуляцію. Крім того, великі дози вітаміну D діють як протиотрута під час отруєння кадмієм.

Матеріали та методи досліджень

Для оцінки рівнів забруднення ґрунтів і сільськогосподарських рослин важкими металами на території Дніпропетровської області були відібрані ділянки, які розташовані на двох типах ґрунтів: чорноземах звичайних, чорноземах південних. Відібрали зразки ґрунтів з ґрунтового-рослинного шару (0-5см) та сільськогосподарських рослин. Перехід важких металів з ґрунту вивчали на основних сільськогосподарських культурах: зерні та соломі пшениці; насінні соняшника. Вміст важких металів (Cd) в рослинних зразках визначали в зольних розчинах. Мінералізацію зразків рослин проводили методом сухого озолення. Вміст досліджуваних важких металів визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії (С 115 М1).

Щільність розподілу ймовірностей значень важких металів в ґрунтах і продукції рослинництва отримали методом статистичного моделювання за логнормальним законом розподілу (Karandev, Eysymont, 1998). Аналіз фактичного матеріалу проводили на основі математичної статистики з використанням виділеного тренду функції щільності ймовірності, яка дозволяє розрахувати величину вмісту важких металів у пробі ґрунту та рослинного матеріалу у тій чи іншій підгрупі статистичного ряду (Khomutinin et al, 2013). Варіанти сформованих рядів розподіляли по визначеним діапазонам у відповідності до традиційного розподілу, і за отриманими ймовірностями будували криві розподілу.

З метою отримання більш деталізованої інформації до аналізу був застосований статистично-вірогідний метод згідно якого аналіз фактичного матеріалу проводили на основі принципів математичної статистики з використанням виділеного тренду функції щільності ймовірності. (Karandev, Eysymont, 1998). Це дозволяє розраховувати ймовірність вмісту важких металів в пробі ґрунту або рослинного матеріалу, вичленити підгрупи за ступенем забруднення із інтегрального статистичного ряду, а також встановити відносний вміст (відсоток) цих підгруп, які орієнтовані на відповідні площі земель сільськогосподарського призначення.

Для цього сформовано статистичні ряди з усіх можливих даних, які були накопичені за два тури обстежень земель Дніпропетровської області і які мали достатню вірогідність. Для ґрунтів статистичні ряди мали кількість варіант від 2×10^4 до 4×10^4 ; для продукції рослинництва - від 2×10^3 до 4×10^3 .

Далі використовували метод виділення гаусіан з інтегрального (сумарного) розподілу щільності вірогідності відповідного статистичного ряду. Для цього усі значення виборки, що відповідали діапазону від мінімального до максимального значення, ділили на 300 інтервалів. За кількістю значень вмісту кадмію, які підпадали до того чи іншого інтервалу, будували інтегральний розподіл густини ймовірності P у межах від мінімального до максимального значення. На експериментальних кривих розподілу густини ймовірності виділяли явно виражені ділянки гаусіан (з боку мінімальних значень), логарифмували і апроксимували їх квадратичною функцією. Потім враховували те, що

$$\ln f(K_i) = a_2 K_i^2 + a_1 K_i + a_0,$$

$$a_2 = -\frac{1}{2\sigma^2}; a_1 = \frac{I}{\sigma^2}; a_0 = \left(\ln A - \frac{1}{2\sigma^2} \bar{K}^2 \right).$$

де K – поточне значення; \bar{K} – середнє арифметичне значення; σ – середнє квадратичне відхилення; A – амплітуда (максимальне значення імовірності знаходження значень значенням \bar{K}) і логарифмічне уявлення функції нормального розподілу має таку ж квадратичну залежність:

$$f(K) = Ae^{-\frac{(\bar{K}-K)^2}{2\sigma^2}},$$

$$\ln f(K_i) = \ln A - \frac{1}{2\sigma^2} (K_i - \bar{K})^2 = -\frac{1}{2\sigma^2} K_i^2 + \frac{\bar{K} K_i}{\sigma^2} + \left(\ln A - \frac{1}{2\sigma^2} \bar{K}^2 \right).$$

За значеннями коефіцієнтів a_0, a_1, a_2 знаходили A, σ, \bar{K} і будували відповідну гаусіану. Вилучивши дану складову із сумарної складової, будували наступну гаусіану. Визначивши складові теоретичного розподілу, додавали їх і отримували сумарні криві теоретичного розподілу.

Кожна гаусіана відповідала певній підгрупі забруднених ґрунтів у структурі границь поділу. Це свідчить про можливість ідентифікації основних підгруп за максимумами гаусіан теоретичних кривих, отриманих з експериментальних розподілів. Для визначення відносного вмісту цих підгруп у структурі границь поділу вимірювали частку площі відповідної гаусіани по відношенню до сумарної площі усіх гаусіан, яка дорівнювала одиниці - 100%.

Результати та їх обговорення.

Криві щільності імовірності розподілу кадмію у ґрунті та їх складові компоненти наведені на рис 1, 2.

В інтегральній кривій щільності імовірності розподілу кадмію в ґрунтах (рис. 1) виділено тільки три компоненти (рис. 2), але спостерігається наступна послідовність відповідності різних типів ґрунтів:

0,14 ± 0,028 мг/кг (62,1%) – відповідає чорноземам звичайним;

0,21 ± 0,021 мг/кг (32,3%) – відповідає чорноземам південним;

0,28 ± 0,019 мг/кг (5,6 %) – відповідає площам, які знаходяться під впливом того чи іншого ступеня забруднення.

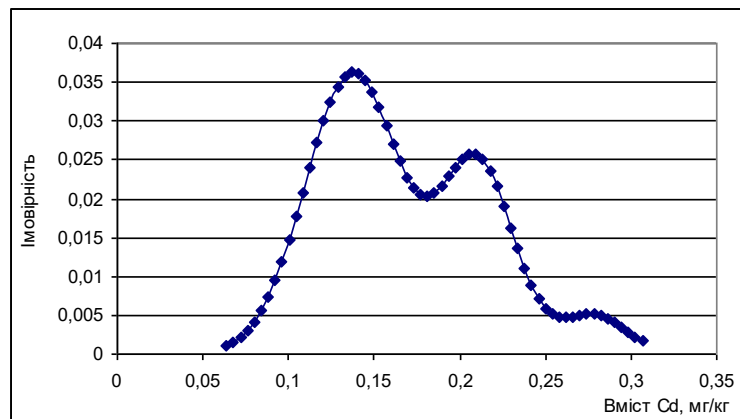


Рис. 1. Інтегральна крива щільності імовірності розподілу кадмію в ґрунтах.

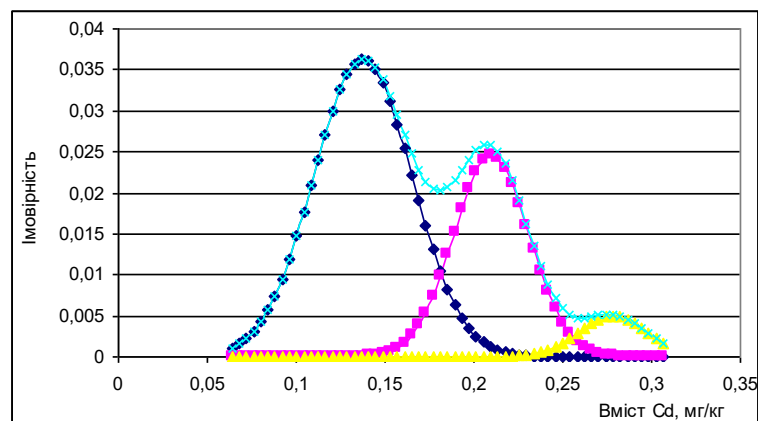


Рис. 2. Складові компоненти інтегральної кривої розподілу кадмію в ґрунтах.

Опір ґрунтів до забруднення кадмієм визначається за критичними рівнями вмісту цього металу, при яких в рослинах і в середовищі в цілому виявляються токсичні ефекти, і тісно пов'язаний з катіоннообмінною ємністю ґрунтів.

Для оцінки ступеня забруднення сільськогосподарських культур, зниження їх поживної цінності і розробки заходів, скерованих на отримання екологічно чистої продукції, зростає необхідність детального вивчення особливостей надходження і нагромадження кадмію в рослині.

Основним показником при вирощуванні сільськогосподарських культур є урожайність та якість вирощеної продукції. Висока фітотоксичність важких металів, як встановлено численними дослідженнями, знижує продуктивність рослин. Урожай – це інтегральний показник, що складається з ряду елементів. Зміни будь-якого з елементів структури врожаю змінює і валовий урожай.

Результати статистичного аналізу вмісту кадмію в середньостатистичному урожаї (представлені на рис. 3, 4).

– в інтегральній кривій щільності імовірності розподілу кадмію в зерні пшениці (рис. 3) виділено чотири компоненти розподілу з відповідними середніми значеннями (рис. 4):

- 0,036 ± 0,0072 мг/кг (48,7%)
- 0,058 ± 0,0070 мг/кг (30,5%)
- 0,069 ± 0,0036 мг/кг (17,7%)
- 0,093 ± 0,0046 мг/кг (3,1%)

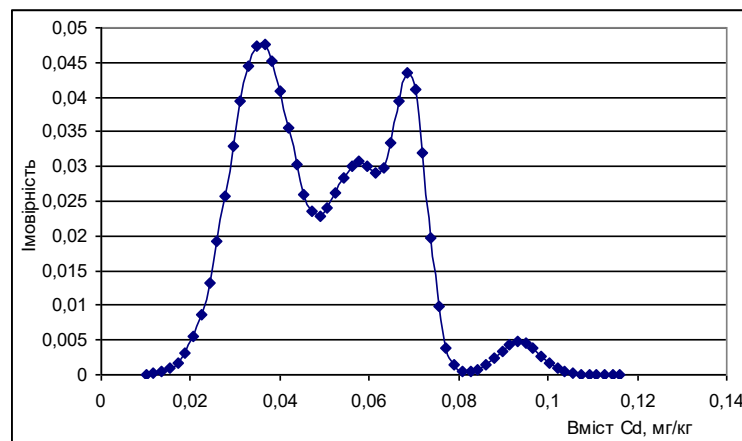


Рис. 3. Інтегральна крива щільності імовірності розподілу кадмію в зерні пшениці.

Встановлені зміни в розподілі кадмію в зерні пшениці, можливо, пояснюються впливом кадмію, наприклад, через дію досліджуваного важкого металу на деякі біохімічні процеси в ґрунті, в результаті чого відбуваються зміни у поживному режимі рослин. Таким чином, дія кадмію на рослинні організми залежить від природи елемента, вмісту його в оточуючому середовищі, характеру ґрунту, форми хімічної сполуки, терміну від моменту забруднення (Yu, 2007).

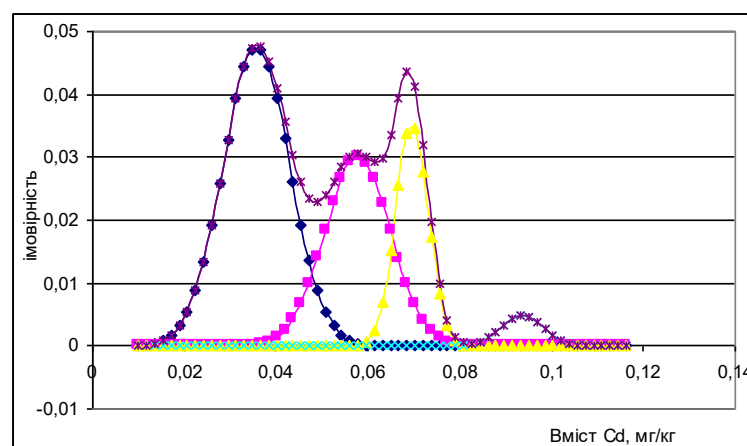


Рис. 4. Складові компоненти інтегральної кривої розподілу кадмію в зерні пшениці.

Перевищення ГДК кадмію спостерігається у 2,3% від сумарного збору урожаю пшениці.

У вторинній продукції (соломі) виділено в інтегральній кривій (рис. 5) три складові компоненти:

- 0,15 ± 0,030 мг/кг (38,3%)
- 0,25 ± 0,029 мг/кг (57,3%)
- 0,39 ± 0,029 мг/кг (4,3%)

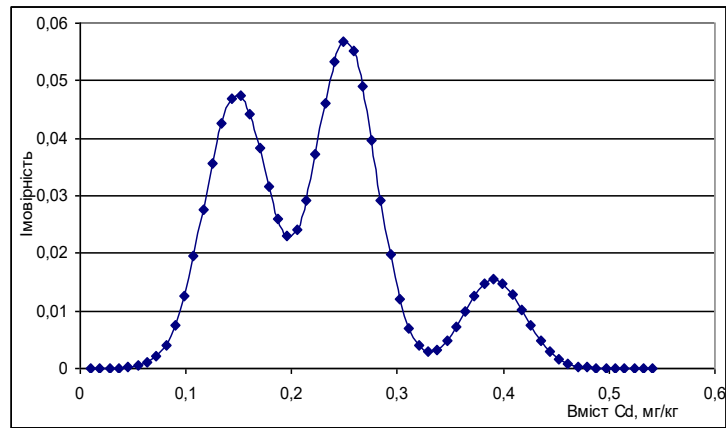


Рис. 5. Інтегральна крива щільності імовірності розподілу кадмію в соломі пшениці.

Для вторинної продукції (солома) характерні аналогічні особливості, але з більш високими величинами середньої та з більшою варіабельністю, так як середньоквадратичні відхилення відповідних гаусіан значно вищі.

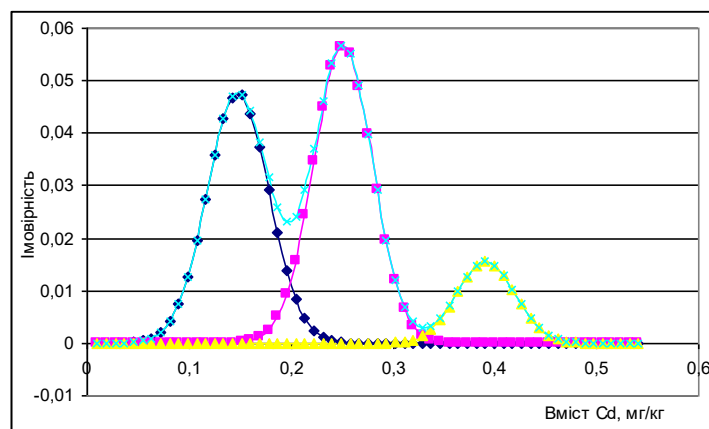


Рис. 6. Складові компоненти інтегральної кривої розподілу кадмію в соломі пшениці.

Пояснити високу міграційну здатність кадмію можна виходячи з його властивостей як біологічно активного металу. Він легко вступає в реакції обміну, утворює розчинні сполуки і важче іммобілізується ґрунтовими мінералами та органічною речовиною (Yruea, 2009).

Формування хімічного складу рослинного організму визначається біохімічними особливостями різних органів, віком рослини і біохімічними закономірностями зв'язку між елементами в організмі. Як бачимо, вміст кадмію в різних частинах пшениці може змінюватися у широких межах.

Соняшник (*Helianthus annuus L., 1753*) – головна олійна культура в Україні, темпи виробництва якої зростають з року в рік. В порівнянні з іншими культурами він має високу рентабельність, що дозволило збільшити посівні площі під цю культуру в 1,2 рази у 2016 році. Соняшник вимогливий до ґрунтів. Найкращими для нього визнані суглинки та супіщані чорноземи. Ця культура інтенсивного мінерального живлення потребує запасів поживних речовин у ґрунті.

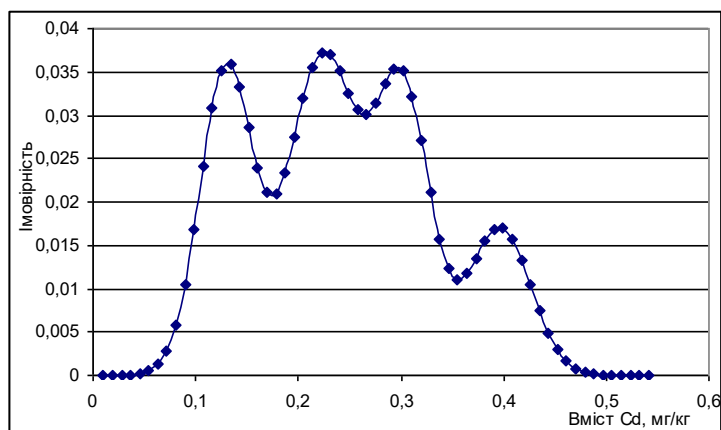


Рис. 7. Інтегральна крива щільності імовірності розподілу кадмію в насінні соняшника.

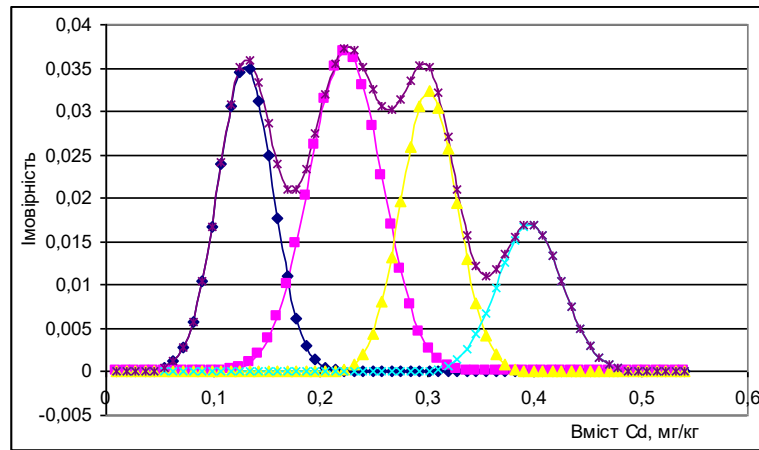


Рис. 8. Складові компоненти інтегральної кривої розподілу кадмію в насінні соняшника.

В інтегральній кривій щільності імовірності розподілу кадмію в насінні соняшника виділено чотири компоненти розподілу з відповідними середніми значеннями (рис. 8):

$0,13 \pm 0,026$ мг/кг (25,8%)

$0,22 \pm 0,034$ мг/кг (35,5%)

$0,30 \pm 0,026$ мг/кг (24,%)

$0,40 \pm 0,030$ мг/кг (14,5%)

Згідно виділеним компонентам (гаусіанам), які сформовані навколо відповідних середніх значень, можливо зробити висновок про те, що вірогідність забруднення насіння соняшника кадмієм на землях сільськогосподарського призначення Дніпропетровської області дорівнює 7,2% (ГДК для олійної сировини -0,4 мг/кг), що відповідає половині площі четвертої компоненти.

Найчастіше рослини одержують кадмій із розчинного CdCl_2 . На інтенсивність накопичення мікроелемента рослинами впливає стан ґрунту, наприклад, при підвищенні рН засвоюваність кадмію рослинами зменшується. Тому вапнування ґрунтів часто призводить до погіршення всмоктування його коренями рослин. На зменшення його вмісту в рослинах впливає присутність у ґрунті іншого важкого металу – цинку (Grishko et al, 2012).

Не визначена потреба рослин у кадмію, однак відомо, що надлишок його є токсичним і негативно впливає передусім на фізіологічні процеси, зокрема на процес фотосинтезу. Дослідження проведені на листях соняшника, свідчать, що при концентрації кадмію в них – (96 мкг/кг) знижувало ефективність фотосинтезу на 50%. Характерною ознакою кадмію є рухливість: потрапляючи в рослину, він швидко виводиться з організму.

Висновки

Визначена залежність між типом ґрунту і рівнем накопичення поллютантів у сільськогосподарських культурах.

Запропонований імовірнісно-статистичний аналіз з використанням функцій щільності розподілу імовірності експериментальних даних вмісту важких металів, а саме кадмію у ґрунті і сільськогосподарських культурах, вірогідно відображує їх розподіл у ґрунтах та накопичення у генеративних та репродуктивних органах.

Виявлені основні закономірності міграції кадмію в системі ґрунт-рослина зі збільшенням рівня забруднення ґрунту важкими металами (Cd).

Біологічні особливості рослин, наряду з агрохімічними властивостям ґрунту, можна віднести до основних факторів, що впливають на перехід кадмію з ґрунту в рослини.

Зважаючи на значимість негативного впливу важких металів на екологічний стан та родючість ґрунтів, якість сільськогосподарської продукції, умов існування біоти і здоров'я людини, необхідно, з одного боку, поліпшувати контроль за їх надходженням в екосистеми, а з іншого - удосконалювати технології промислового виробництва з метою зменшення викидів важких металів у навколишнє природне середовище.

References

- Achasova, A. (2003). Spatial heterogeneity of heavy metals content in soil. *Bulletin of Agrarian Science*, 3, 77-78 (in Ukrainian).
- Fontes, M.P.F., de Matos, A.T., da Costa, L.M et al. (2003). Competitive adsorption of zinc, cadmium, copper and lead in three highly-weathered Brazilian soils. *Commun. Soil. Sci. and Plant Anal*, 31(17-18.), 2939-2958.
- Dobrovolsky, G.V., Nikitin, Y.D. (2012). *Soils ecology. Conception on soils ecological functions*. Moscow. Moscow State University Press (in Russian).
- Furdichko, O.I. (2014a). *Ecological bases of agrosphere balanced development in the context of European integration of Ukraine*. Kyiv: DIA (in Ukrainian).
- Furdichko, O.I. (2014b). *Agroecology*. Kyiv: Agrarian Science (in Ukrainian).
- Grishko, B.M., Syshchikov, D.V., Piskova, O. M. (2012). Heavy metals: input into soils, translocation in plants and environmental hazards. NAS of Ukraine, Krivoriizh. Botanical Garden, Soil Scientists and Agrochemists Community of Ukraine, Community of Plant Physiologists of Ukraine. Donetsk: Donbass (in Ukrainian).

-
- Karandev, D.A., Eysymont, I.M. (1998). Problems on estimation of probability densities by empirical data. *Management of large systems*, 1, 48-57 (in Russian).
- Karpachevsky, L.O., Zubkova, T.A. (2010). Soil ecological functions in agrosphere. *Soil Science*, 11(3-4), 55-59 (in Ukrainian)
- Khomutinin, Y.V., Ivanov, Y.O., Kirichenko, V.K. (2013). Algorithm for decision-making on rehabilitation of agricultural lands contaminated with heavy natural radionuclides. *Nuclear Physics and Power Engineering*, 14(2). 183-193 (in Russian).
- Kimakovska, N.O. (2006). Heavy metals migration in soil-plant chain. *Proceedings of V International Scientific Conference "Experience in Overcoming of Consequences of the Chernobyl Catastrophe in Agriculture and Forestry – 20 Years After the Chernobyl Nuclear Disaster"*. Zhytomyr. Agroecological State University Press (in Ukrainian).
- Yruela, I. (2009). Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Funct. Plant Biol*, 36, 409-430.
<https://doi.org/10.1071/FP08288>
- Yu, F., Tang, Y., Zhou, X. et al. (2007). Subcellular distribution and chemical forms of cadmium at *Arabis paniculate*. *Acta Sci. Natur. Univ. Sutyatseni. Natur. Sci*, 46(6), 88-92.
- Zhang, L., Song, F. (2005). Influence of zinc bringing in soil on cadmium absorption and accumulation of the maize plants at the different cadmium concentrations. *J. Agro-Environ. Sci*, 24(6), 1054-1058.
-

Citation:

Chorna, V.I., Voroshylova, N.V., Syrovatko, V.A. (2018). Cadmium distribution in soils of Dnipropetrovsk oblast and its accumulation in crop production. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 910-917.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License
