

UDC 631.41.633.17.551.521

HEAVY METAL CONCENTRATION IN SOILS WHILE GROWING ENERGY CROPS IN THE RADIOACTIVELY CONTAMINATED TERRITORY

S. Kovalyova¹, I. Mozharivska²

Article info

Received
10.02.2020

Accepted
11.03.2020

¹ Zhytomyr
National
Agroecological
University
7, Staryi Blvd,
Zhytomyr,
10008, Ukraine

² Zhytomyr
branch of the
state institution
«Soil Protection
Institute of
Ukraine»
21A, Myru Av.,
Zhytomyr,
10020, Ukraine

E-mail:
[innamozharivska
@gmail.com](mailto:innamozharivska@gmail.com)

Kovalyova, S., Mozharivska, I. (2020). Heavy metal concentration in soils while growing energy crops in the radioactively contaminated territory. Scientific Horizons, 03 (88), 121–126. doi: 10.33249/2663-2144-2020-88-3-121-126.

Soil is a unique indispensable natural resource which is the solar energy storage, the basis of life for plants, animals and humans, as well as a natural indicator of environmental pollution. Contamination of soil with heavy metals is of global interest in modern science in connection with the increase of man-made impact on the environment. The danger of heavy metals is determined by the fact that, unlike organic pollutants, they are not destroyed, but transfer from one form to another, in particular, they are included in the salts, oxides, organometallic compounds.

The purpose of our study was to determine the content of mobile heavy metal compounds in soil while growing energy crops on the radioactively contaminated territory.

The findings of the study showed that the content of toxicants in soil under conditions of radioactive contamination was considerably below the MAC. Lead concentration in the studied sites of energy crops varied within 0.72–0.87 mg/kg. The greatest difference between the variants was found while cultivating cup plant and oriental bunias (10.9 and 11.8 %), and the smallest was observed while growing miscanthus and sorghum perennial (7.5 and 9.7 %, respectively). It was found out that the highest concentration of cadmium was observed in the soil when using mineral fertilizers (N₅₀P₅₀K₅₀); the content was at the level of 0.040–0.044 mg/kg. Chemical elements such as copper and zinc were in minimal quantities. The levels of copper availability varied from 0.078 to 0.091 mg/kg, and zinc from 1.83 to 2.45 mg/kg. It should be noted that the lowest concentration of heavy metals was observed while cultivating all energy crops without the use of fertilizers.

Prospects for further study will be aimed at establishing patterns of distribution of heavy metals in soil layers while cultivating energy crops.

Key words: *perennial sida, cup plant, sorghum perennial, oriental bunias, giant miscanthus, lead, cadmium, copper, zinc.*

КОНЦЕНТРАЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТІ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР НА ТЕРИТОРІЇ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

С. П. Ковальова¹, І. А. Можарівська²

¹Житомирський національний агроєкологічний університет
бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

²Житомирська філія державної установи «Інститут охорони ґрунтів України»
проспект Миру, 21 А, м. Житомир, 10020, Україна

Ґрунт – унікальний незамінний природний ресурс, накопичувач сонячної енергії, основа життя рослин, тварин і людини, а також природний індикатор забруднення навколишнього середовища.

Забруднення ґрунтів важкими металами викликає глобальний інтерес з боку сучасної науки у зв'язку з підвищенням техногенного впливу на навколишнє природне середовище. Небезпека від важких металів визначається тим, що на відміну від органічних забруднювачів вони не руйнуються, а переходять з однієї форми в іншу, зокрема включаються у склад солей, оксидів, металоорганічних сполук.

Метою наших досліджень було визначення вмісту рухомих сполук важких металів у ґрунті при виращуванні енергетичних культур на території радіоактивного забруднення.

За результатами досліджень встановлено, що вміст токсикантів у ґрунті в умовах радіоактивного забруднення був значно нижче ГДК. Концентрація свинцю на досліджуваних ділянках енергетичних рослин варіювала у межах 0,72–0,87 мг/кг. Найбільшу різницю між варіантами встановлено при виращуванні сільфії пронизанolistого та свербиги східної (10,9 та 11,8 %), а найменшу – міскантуса та сорго багаторічного (7,5 та 9,7 %, відповідно). Досліджено, що найбільша концентрація кадмію відмічена у ґрунті при застосуванні мінеральних добрив ($N_{50}P_{50}K_{50}$), вміст був на рівні 0,040–0,044 мг/кг. Хімічні елементи, такі як мідь та цинк, знаходилися в мінімальних кількостях. Рівні забезпеченості міддю варіювали від 0,078 до 0,091 мг/кг, а цинком – від 1,83 до 2,45 мг/кг. Відзначимо, що найнижчу концентрацію важких металів відмічено при виращуванні усіх енергетичних культур у варіанті без застосування добрив.

Перспективи подальших досліджень будуть спрямовані на встановлення закономірностей розподілу важких металів у шарах ґрунту при виращуванні енергетичних культур.

Ключові слова: сіда багаторічна, сільфій пронизанolistий, сорго багаторічне, свербига східна, міскантус-гігантус, свинець, кадмій, мідь, цинк.

Вступ

Ґрунт є незамінним компонентом біосфери, якому притаманна низка найважливіших екологічних функцій: родючість, енергетична, газо-атмосферна, гідрологічна та інші. Він виконує роль сполучної ланки всіх компонентів біосфери, а також функцію біогеохімічного бар'єру. Внаслідок прояву ґрунтами рефлексорності і сенсорності їх необхідно використовувати в якості об'єктивного інформаційного блоку при оцінці геохімічного стану всього біогеоценозу. Звідси випливає еколого-гігієнічна роль ґрунтів і ґрунтового покриву (Rusanov et al., 2002).

Однак, наслідки аварії на ЧАЕС призвели до забруднення радіонуклідами та важкими металами сільськогосподарських угідь дванадцяти областей України. Радіаційному контролю підлягають 50 тис. гектарів найродючіших земель (Vozianova et al., 2007).

На техногенно забруднених територіях вміст важких металів у ґрунті та продукції рослинництва є додатковим до радіоактивного негативним фактором, спільна дія яких наразі мало досліджена. Вивчення даної проблематики відображено у наукових працях С. М. Рижука, І. Т. Слюсара, В. А. Вергунова, А. М. Русанова, Е. В. Блохіна, Н. Н. Зеніна, Е. А. Милякова, А. Н. Ратніков, Т. Л. Жигарьова, Д. Г. Свириденко, Г. І. Попова тощо (Ryzhuk, et al., 2002; Rusanov et al., 2002; Ratnikov, et al., 2003).

Фоновий вміст важких металів у дерново-

підзолистих ґрунтах Житомирського Полісся за результатами 8 туру паспортизації становить: свинцю – 2,5–5,0 мг/кг, кадмію – 0,15–0,30 міді – 0,2–0,7 та цинку – 0,3–0,6 мг/кг, що у 2–5 разів нижче ГДК (Trembitskyi, 2004).

Поведінка важких металів у системі ґрунт-рослина визначається багатьма факторами, а саме: їх концентрацією і формою вмісту в ґрунті, вмістом гумусу, механічним і мінералогічним складом ґрунту, pH, рівнем окислювально-відновного потенціалу, біологічними особливостями рослин. Зважаючи на різноманіття чинників та їх поєднання в агросфері, накопичення важких металів у рослинах вивчені недостатньо (Ratnikov, et al., 2003).

Відзначимо, що період напіврозпаду і напівочищення ґрунту від радіонуклідів та важких металів складає десятки років. Тому нині першочерговим завданням багатьох вчених, безсумнівно, є пошук засобів та заходів для фітореабілітації ґрунтів (Vozianova et al., 2007; Slavov & Plotko, 2017; Skachok et al., 2019). Систематичне сільськогосподарське використання земельного фонду Житомирської області потребує наявного контролю за станом його родючості, ступенем еродованості, реакцією та сольовим режимом ґрунтового середовища, а також рівнем забруднення важкими металами, радіонуклідами, пестицидами.

Згідно з існуючими прогнозами, у перспективі важкі метали можуть стати більш небезпечними, ніж відходи атомних

електростанцій і поділити перше місце з пестицидами. За останні роки забруднення ними навколишнього середовища збільшилося у 2,5–3 рази, а у біохімічні цикли щорічно надходить 3×10^5 тонн свинцю, 2×10^3 тонн кадмію (Romanchuk, 2015).

Забруднення навколишнього середовища важкими металами створило серйозні проблеми для безпечного сільськогосподарського використання ґрунтів.

Тому метою наших досліджень було визначення вмісту рухомих сполук важких металів у ґрунті при вирощуванні енергетичних культур на території радіоактивного забруднення.

Матеріали та методи

Проведення досліджень щодо визначення вмісту рухомих сполук важких металів у ґрунті при вирощуванні енергетичних культур здійснювалося впродовж 2014–2016 рр. на дерново-підзолистих ґрунтах території

Мотіїківської сільської ради Народицького району (с. Христинівка) Житомирської області, яка відноситься до зони безумовного обов'язкового відселення (2-а зона радіоактивного забруднення).

Територія дослідної ділянки характеризується рівнинним рельєфом. Поверхня ґрунту задернована, після аварії на Чорнобильській АЕС – ділянка не була в сільськогосподарському використанні. Ґрунт – дерново-середньопідзолистий, глеуватий на водо-льодовикових відкладах, характеризується супіщаним гранулометричним складом, доброю водопроникністю та аерацією, що сприяє відносно швидкому розкладанню органічних речовин і значному вимиванню елементів мінерального живлення з верхніх горизонтів у нижній. Проміжок часу між опадами призводить до швидкого пересихання верхнього шару ґрунту, що негативно впливає на ріст та розвиток рослин.

Таблиця 1. Агрохімічна характеристика дослідної ділянки

№ зразка	Шар ґрунту, см	P_2O_5	K_2O	N_k	pH	H_2	Сума ввібр. основ	Гумус, %
		мг/кг				мг-екв./100 г		
1	Ho 0-6	116	89	114	6,6	1,70	16,2	1,60
2	HE 6-32	204	131	94,5	5,51	1,37	8,8	1,70
3	E 32-63	41	14	15,4	6,04	0,53	2,2	0,17
4	EI 63-83	19	47	11,2	6,13	0,85	6,6	0,10
5	Igl 83-120	57	24	8,4	6,07	0,59	3,8	0,05
6	Pgl 120-140	69	24	8,4	5,53	0,66	5,0	0,02

Схема дослід з енергетичними культурами:

- | | |
|---|-------------------|
| 1. Сіда багаторічна (<i>Sida hermaphrodita</i>) | сорт Фітоенергія. |
| 2. Сильфій пронизанолистий (<i>Silhium perfoliatum</i>) | сорт Переможець. |
| 3. Сорго багаторічне (<i>Sorghum alnum Parodi</i>) | сорт Колумб. |
| 4. Свєрбига східна (<i>Bunias orientalis</i>) | сорт Олімпійська. |
| 5. Міскантус-гігантеус (<i>Miscanthus giganteus</i>) | сорт Гулівер. |

Культури вирощувалися на 2-х фонах удобрення: без добрив (контроль); $N_{50}P_{50}K_{50}$. Згідно зі схемою дослід вносили рекомендовані норми фосфорно-калійних добрив – суперфосфат P_2O_5 – (18,4 %), каліймагнезія K_2O – (40,2 %), азотних добрив – аміачна селітра N – (34,1 %).

Енергетичні культури вирощувалися за загальноприйнятими технологіями. Повторність дослід 6-кратна, розміщення повторень в один

ярус, варіантів – систематичне. Загальна площа ділянки 195 м^2 , площа посівної ділянки $2,5 \text{ м}^2$, облікової $1,5 \text{ м}^2$.

Відбір зразків ґрунту для визначення важких металів проводився згідно з ДСТУ 4287:2004 (DSTU ISO 10381-5: 2009.). Підготовку зразків для спектрометричних досліджень проводили у лабораторних умовах. Дослідження ґрунтових зразків на вміст рухомих сполук важких металів

визначали у вимірювальній лабораторії Житомирської філії ДУ «Держґрунтохорона» у буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрометрії згідно з чинними нормативними документами: свинець – ДСТУ 4770.9:2007 (DSTU 4770.9:2007), кадмій – ДСТУ 4770.3:2007 (DSTU 4770.3:2007), цинк – 4770.2:2007 (DSTU 4770.2:2007), мідь – ДСТУ 4770.6:2007 (DSTU 4770.6:2007).

Результати досліджень та обговорення

Вміст важких металів у зонах забруднення може досягати тисяч міліграмів на 1 кг ґрунту, що перевищує допустимі рівні у сотні й тисячі разів. Такі території не можна використовувати в сільськогосподарських цілях без попереднього проведення оздоровчих заходів.

Одним із шляхів забруднення ґрунту важкими металами є внесення органічних добрив – підстилкового гною, осаду стічних вод, сапропелю тощо. Так, за даними Л. І. Акенієвої (Heletukha, et al., 2014) внесення за ротацію 220 т підстилкового гною може підвищити вміст важких металів у ґрунті в 1,7 раза проти природного вмісту.

Відомо, що важкі метали в ґрунті можуть знаходитися в різноманітних по розчинності та рухомості формах, а саме: нерозчинні, які входять до складу ґрунтових мінералів; обмінні, які перебувають у динамічній рівновазі з іонами даного металу в ґрунтовому розчині; рухомі та розчинні форми (Smahlii, et al., 2002). Між ними існує не тільки тісний взаємозв'язок, а й можливе перетворення одних форм в інші. Рухомі форми металів можуть нагромаджуватися в ґрунті до великих концентрацій, які зумовлюють їх токсичність як для ґрунтової біоти, так і для рослин (Ryzhuk, et al., 2002).

Більша частина металів зв'язується органічною частиною ґрунту – гуміновими кислотами та фульвокислотами. Ґрунти, які мають значну кількість органічної речовини, здатні накопичувати набагато більше важких металів, ніж піщані або бідні на гумус. При цьому, постійне надходження важких металів у ґрунт, навіть у малих кількостях на впродовж тривалого часу, здатне призвести до значного нагромадження їх у профілі (Smahlii, et al., 2002).

Менш стійкі до дії різних видів забруднення ґрунти, які мають кислу реакцію середовища і ненасичені основами: підзолисті, дерново-підзолисті, болотні, сірі та бурі лісові ґрунти.

Вказані типи і види ґрунтів ємністю поглинання менше 20,0 мг-екв./100 г мають малу буферність до хімічного забруднення, особливо до дії кислих опадів і забруднення важкими металами, і тому найбільш схильні до забруднення (Smahlii, et al., 2002).

Ґрунти Полісся з ємністю від декількох одиниць до 10 мг-екв./100 г ґрунту мають невелику утримуючу здатність щодо важких металів, у зв'язку з чим важкі метали легко адсорбуються рослинами (Ryzhuk, et al., 2002).

У зв'язку з цим ведення землеробства на забруднених важкими металами ґрунтах є одним з актуальних питань для агроекологів. Забруднені важкими металами ґрунти потребують спеціальних засобів детоксикації ґрунту, що могли б не допустити надходження їх у рослинницьку продукцію. Виходячи з цього, дослідження токсичного впливу важких металів на природну систему ґрунт-рослина і розробка заходів з детоксикації ґрунту є надзвичайно важливими (Ryzhuk, et al., 2002).

У результаті проведених досліджень встановлено, що важкі метали накопичувалися у ґрунті незалежно від щільності забруднення ґрунту цезієм-137 при вирощуванні енергетичних культур і концентрація варіювала від 833,1 кБк/м² до 1005,4 кБк/м² та не перевищувала ГДК: по свинцю – 6,0, кадмію 0,7 мг/кг, міді – 3,0, цинку – 23,0 мг/кг (табл. 2).

За результатами досліджень ґрунту вміст рухомих сполук свинцю на дослідних ділянках знаходився у межах 0,72–0,87 мг/кг. Встановлено, що при вирощуванні усіх енергетичних культур у варіанті без добрив, концентрація свинцю була нижчою, ніж при використанні добрив і варіювала від 0,72 до 0,80 мг/кг. При вирощуванні енергетичних культур із застосуванням добрив, вміст рухомих сполук у ґрунті досліджуваних ділянок був вищим від контролю на 8,8–9,7 % і знаходився у межах 0,79–0,87 мг/кг, що пояснюється вмістом важких металів у мінеральних добривах.

Також відмічено, що найбільша концентрація свинцю була у ґрунтах при вирощуванні міскантуса (0,80 і 0,86 мг/кг – на контролі та із застосуванням добрив, відповідно). Найбільшу різницю по вмісту свинцю між варіантами встановлено при вирощуванні сільфію пронизаного та свербіги східної (10,9 та 11,8 %), а найменшу – при вирощуванні міскантуса та сорго багаторічного (7,5 та 9,7 %, відповідно).

Таблиця 2. Вміст рухомих сполук важких металів у ґрунті при вирощуванні енергетичних культур (2014–2016 рр.)

Культура	Варіант удобрення	Важкі метали, мг/кг			
		свинець	кадмій	мідь	цинк
Сіда багаторічна (<i>Sida hermaphrodita</i>)	контроль	0,76	0,036	0,080	1,80
	$N_{50}P_{50}K_{50}$	0,85	0,041	0,078	2,01
Сильфій пронизанолистий (<i>Silhium perfoliatum</i>)	контроль	0,79	0,037	0,089	2,18
	$N_{50}P_{50}K_{50}$	0,87	0,040	0,086	2,40
Сорго багаторічне (<i>Sorghum alnum Parodi</i>)	контроль	0,72	0,034	0,085	2,10
	$N_{50}P_{50}K_{50}$	0,79	0,038	0,083	2,36
Свербига східна (<i>Bunias orientalis</i>)	контроль	0,73	0,040	0,091	2,20
	$N_{50}P_{50}K_{50}$	0,81	0,044	0,088	2,43
Міскантус гігантеус (<i>Miscanthus giganteus</i>)	контроль	0,80	0,038	0,084	1,83
	$N_{50}P_{50}K_{50}$	0,86	0,042	0,082	2,07
ГДК, мг/кг		6,0	0,7	3,0	23,0
НІР ₀₅		0,03	0,008	0,009	0,07

Величина показника вмісту кадмію у зразках ґрунту дослідних ділянок при вирощуванні енергетичних культур варіювала від 0,034 до 0,044 мг/кг. Встановлено, що найбільшу концентрацію цього елемента відмічено у ґрунті при застосуванні мінеральних добрив ($N_{50}P_{50}K_{50}$), де вміст токсиканта був на рівні 0,040–0,044 мг/кг, тоді як у варіанті без добрив цей показник знаходився на рівні 0,034–0,040 мг/кг. Стосовно вмісту рухомих сполук кадмію при вирощуванні культур між варіантами удобрення, то найбільшу різницю відмічено при вирощуванні сорго та сіди (11,7–13,7 %). При вирощуванні свербиги, міскантуса та сильфію відсоток між варіантами складав, відповідно, 10,5; 10,5 та 7,0 %.

Хімічні елементи такі як мідь та цинк знаходяться у мінімальних кількостях, виступають в якості мікроелементів, необхідних для фізіологічних процесів росту і розвитку рослин, тварин, людей. При накопиченні цих елементів більше потреби організму вони стають шкідливими токсичними металами і гальмують вказані процеси.

Лабораторними дослідженнями встановлено, що мідь у ґрунті досліджуваних ділянках при вирощуванні енергетичних культур була на дуже низькому рівні забезпеченості (< 0,1 мг/кг) і варіювала від 0,078 до 0,091 мг/кг. Вміст рухомих сполук міді у варіанті без добрив був на рівні 0,078–0,088 мг/кг, що на 2,3–3,4 % вище аналогічних показників ґрунту із застосуванням добрив.

Забезпеченість дослідних ділянок рухомих цинком знаходилася на середньому (1,6–2,0) та підвищеному (2,1–3,0) рівнях. Показники цього елемента у ґрунтових зразках варіювали від 1,83 до 2,45 мг/кг.

Вміст цинку у варіанті із застосуванням добрив був на 10,1; 10,5; 11,7; 12,4; 13,1 % вищим при вирощуванні сильфію, свербиги, сіди, сорго та міскантуса у порівнянні із вирощуванням культур без добрив.

Тому актуальним завданням досліджень у цьому напрямі є проведення систематичних аналітичних досліджень ґрунтів радіоактивно забруднених територій Чорнобильської зони відчуження, а також поглиблене вивчення їх структури з урахуванням сучасних антропогенних змін.

Висновки

1. Аналіз вмісту важких металів у ґрунтах є репрезентативним показником екологічного стану території.

2. Результатами трирічних досліджень встановлено, що в ґрунтах дослідних ділянок, на яких вирощувалися енергетичні культури, вміст важких металів, а саме рухомих сполук свинцю, кадмію, міді та цинку, знаходилися у межах гранично допустимих концентрацій та мали слабкий рівень забруднення цими елементами. Найнижчу концентрацію токсикантів відмічено при вирощуванні усіх енергетичних культур у варіанті без застосування добрив.

3. Встановлено, що концентрація свинцю у

грунті варіювала у межах 0,72–0,87 мг/кг, а кадмію – 0,040–0,044 мг/кг.

4. Вміст рухомих сполук міді та цинку значно нижчий ГДК, відповідно вони виступають у ролі мікроелементів. Концентрація міді у ґрунті досліджуваних ділянок знаходиться на дуже низькому рівні забезпеченості (< 0,1 мг/кг), а концентрація цинку варіює від середнього ступеня (1,6–2,0) забезпеченості до підвищеного (2,1–3,0).

References

Rusanov, A. M., Blokhin, E. V., Zenina, N. N. & Miliakova, E. A. (2002). Rezultaty izucheniia zagriazneniia pochv Orenburgskoi oblasti tiazhelymi metallami i radioaktivnymi elementami [The results of the study of soil pollution in the Orenburg region with heavy metals and radioactive elements]. *Vestnik OGU*, 1, 98–101. [in Russian].

Vozianova, O. F., Bebeska, V. H. & Bazyka, D. A. (2007). Medychni naslidky avarii na Chornobylskii atomnii elektrostantsii [Medical consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant]. Kyiv: DIA [in Ukrainian].

Ryzhuk, S. M., Sliusar, I. T. & Verhunov, V. A. (2002) Ahroekolohichni osoblyvosti vysoko-efektyvnoho vykorystannia osushuvanykh torfovykh gruntiv Polissia i Lisostepu [Agroecological features of highly efficient use of the drained peat soils of Polissya and Forest-steppe]. Kyiv : Ahrarna nauka [in Ukrainian].

Ratnikov, A. N., Zhigareva, T. L., Sviridenko, D. G. & Popova, G. I. (2003). Produktivnost selskokhoziaistvennykh kultur i nakoplenie v urozhae ^{137}Cs i tiazhelykh metallov na pochvakh nechernozemnoi zony [The productivity of crops and the accumulation in the crop of ^{137}Cs and heavy metals on soils of the non-chernozem zone]. *Vestnik RUDN*, 9, 188–191 [in Russian].

Trembitskyi, V. A. (2004). Ahroekolohichni stan gruntiv pravoberezhnoho Polissia Ukrainy, vdoskonalennia upravlinnia yikh rodiuchistiu i produktyvnistiu ahrotsenoziv. *Candidate`s thesis*. Zhytomyr National Agroecological University. Zhytomyr [in Ukrainian].

Slavov, V. P. & Plotko, T. S. (2017). Pryrodna rezystentnist i vidtvoriuvalna zdatnist koriv za dii malykh doz radiatsii [Natural resistance and reproductive capacity of cows under the action of small doses of radiation]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 4,

80. doi: doi.org/10.31073/agrovisnyk201704-05 [in Ukrainian].

Skachok, L. M., Potapenko, L. V. & Horbachenko, N. I. (2019). Ahroekolohichna efektyvnist elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia miskantusu na radioaktyvno zabrudnennykh gruntakh [Agroecological efficiency of elements of miscanthus growing technology on radi oactively contaminated soils]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 9, 88. doi: doi.org/10.31073/agrovisnyk201909-09 [in Ukrainian].

Romanchuk, L. D. (2015). Radioekolohichna otsinka formuvannia dozovoho navantazhennia u meshkantsiv silskykh terytorii Polissia Ukrainy [Radio-ecological assessment of the formation of dose load in the inhabitants of rural areas of Polesie of Ukraine]. Zhytomyr : ZhNAEU [in Ukrainian].

DSTU ISO 10381-5: 2009. *Yakist gruntu. Vidbyrannia prob. Chynnyi vid 2009-07-29*. (2009). Kyiv [in Ukrainian].

DSTU 4770. 9: 2007. *Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk svyntsiu v buferonii amoniino-atsetatnii vytyazhti z rN 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrometrii. Chynnyi vid 2009-01-01*. (2009). Kyiv [in Ukrainian].

DSTU 4770. 3: 2007 *Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk kadmiuu v buferonii amoniino-atsetatnii vytyazhti z rN 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrometrii. Chynnyi vid 2009-01-01*. (2009). Kyiv [in Ukrainian].

DSTU 4770. 2: 2007 *Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk tsynku v buferonii amoniino-atsetatnii vytyazhti z rN 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrometrii. Chynnyi vid 2009-01-01*. (2009). Kyiv [in Ukrainian].

DSTU 4770. 6: 2007 *Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk midi v buferonii amoniino-atsetatnii vytyazhti z rN 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrometrii. Chynnyi vid 2009-01-01*. (2009). Kyiv [in Ukrainian].

Heletukha, H. H., Zheliezna, T. A., Kucheruk, P. P. & Oliinyk, Ye. M. (2014). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini [Current state and prospects of bioenergy development in Ukraine]. *Analychna zapyska BAU*, 9, 9–10 [in Ukrainian].

Smahlii, O. F., Rybak, M. F. & Dankevych, Ye. M. (2008). Osnovy zemlerobstva [Fundamentals of agriculture]. Zhytomyr : Vyd-vo VDNZ “Derzh. ahroekol. univ. [in Ukrainian].