

ЕКОЛОГІЯ

УДК 504.064(477):635/1.8

РОЗПУТНИЙ О.І., ГЕРАСИМЕНКО В.Ю.,
ПЕРЦОВИЙ І.В., СКИБА В.В., САВЕКО М.Є.

Білоцерківський національний аграрний університет
bezpeku@ukr.net

МІГРАЦІЯ ^{137}Cs І ^{90}Sr НА ЧОРНОЗЕМАХ ТИПОВИХ В ОВОЧЕВУ ПРОДУКЦІЮ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Для виконання встановленої мети було здійснено відбір зразків продукції рослинництва та ґрунту на приватних ділянках жителів сіл Йосипівка та Тарасівка. Досліджувані території Білоцерківського району розташовані у північно-східній частині правобережного Лісостепу України і представлені переважно чорноземами типовими малогумусними на лесах в межах межирічних рівнин. Встановлено забруднення ^{137}Cs і ^{90}Sr овочевої продукції, яка була вирощена на присадибних ділянках жителів сіл Йосипівка та Тарасівка Білоцерківського району, що зазнали радіоактивного забруднення та знаходяться у південній частині Київської області, Центрального Лісостепу України. З'ясовано вміст ^{137}Cs і ^{90}Sr у ґрунтах та встановлена щільність забруднення присадибних ділянок даних сіл. Обчислено та встановлено коефіцієнти переходу надходження радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr із ґрунту чорнозему типового в рослини, зокрема огірки, картоплю, цибулю ріпчасту, буряк столовий, моркву, помідори, капусту білокачанну, що дає можливість на основі розрахованих коефіцієнтів переходу ^{137}Cs і ^{90}Sr спрогнозувати забруднення даними радіонуклідами продукції рослинництва, яка буде вирощуватися на радіоактивно забруднених територіях Центрального Лісостепу України. Зменшення переходу радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr із ґрунту в продукцію рослинництва – одне з основних завдань ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіонуклідами землях. Дослідження дають змогу більш детально вивчити сучасний стан міграції даних радіонуклідів у ланці “ґрунт – рослина” в агроекосистемах Центрального Лісостепу України з подальшим прогнозуванням.

Ключові слова: радіонукліди ^{137}Cs і ^{90}Sr , щільність забруднення, коефіцієнти переходу.

doi: 10.33245/2310-9270-2018-142-2-90-98

Постановка проблеми. Незалежно від часу, який минув із моменту Чорнобильської катастрофи, проблема радіоактивного забруднення є актуальною. На даний час залишаються забрудненими 6,7 млн га території нашої держави, серед яких 1,2 млн га земель забруднені ^{137}Cs зі щільністю від 42 до 589 кБк/м² (1–15 Кі/км²). На радіоактивно забруднених територіях знаходяться 2161 населені пункти, у яких проживають близько 3 млн жителів (20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: Національна доповідь України). Для жителів сільської місцевості даних населених пунктів головна частка продуктів харчування припадає на продукти, що одержані з присадибних ділянок. Саме тому визначення забрудненості продукції рослинництва штучними радіонуклідами ^{137}Cs і ^{90}Sr на угіддях, які потрапили під дію радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС, є актуальним, адже внутрішня доза опромінення формується за рахунок спожитої продукції, яка вирощена на приватних ділянках [1–17, 20–30]. Зменшення переходу радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr із ґрунту в продукцію рослинництва – одне з основних завдань ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіонуклідами землях [1–10]. Здійснення цих досліджень дасть змогу більш детально вивчити сучасний стан міграції даних радіонуклідів у ланці “ґрунт – рослина” в агроекосистемах Центрального Лісостепу України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Від моменту Чорнобильської аварії провідними вченими (Б.С. Прістер, 2011; О.І. Фурдичко, М.Д. Кучма, Г.М. Чоботько, 2011; В.А. Кашпаров, М.М. Лазарев, 2011; Д.М. Гродзинський, 2011; І.М. Гудков, 2009; І.А. Ліхтарьов, 2012 та ін.) було проведено значну кількість наукових досліджень із вивчення міграції ^{137}Cs і ^{90}Sr в об'єктах сільськогосподарського виробництва, акумуляції їх у продовольчій продукції та оцінки доз опромінення людини. Головну увагу вчених було зосереджено на зоні Полісся. До того ж, більше уваги приділяється ^{137}Cs , що є основним дозоутворюючим радіонуклідом [1–18, 30]. Окрім того, на територіях Лісостепу, які радіоактивно забруднені, значна частка забруднення

припадає на ^{90}Sr , інтенсивність міграції якого, на думку вчених, буде зростати [4, 5, 15, 26–30]. Усі ці дані зумовили необхідність детального вивчення стану міграції ^{137}Cs і ^{90}Sr в ланцюзі «грунт – рослина» агроєкосистем сільськогосподарських підприємств і приватних ділянок Центрального Лісостепу, які потрапили під вплив радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської аварії у віддалений період.

Вміст забруднення радіонуклідами овочевої продукції через 33 роки після Чорнобильської катастрофи доводить, що проблема моніторингу, вивчення та прогнозування в продукцію є актуальною донині.

Метою дослідження було дослідити міграцію ^{137}Cs і ^{90}Sr в ланцюзі «грунт – рослина» в селах Йосипівка та Тарасівка Київської області центрального лісостепу України та встановити коефіцієнти переходу ^{137}Cs і ^{90}Sr із чорнозему типового в овочеву продукцію для наступного прогнозування.

Матеріал і методика дослідження. Досліджувані території Білоцерківського району розташовані у північно-східній частині правобережного Лісостепу України і представлені переважно чорноземами типовими малогумусними на лесах у межах межирічних рівнин. Для виконання встановленої мети було здійснено відбір зразків продукції рослинництва та ґрунту на приватних ділянках жителів сіл Йосипівка і Тарасівка Білоцерківського району Київської області згідно із загальноприйнятими методиками [31–34]. Територія даних населених пунктів потрапила під зону південного сліду радіоактивного забруднення. Після підготовки проб, у зразках визначили активність ^{137}Cs і ^{90}Sr на кафедрі безпеки життєдіяльності Білоцерківського національного аграрного університету на спектрометричному комплексі “УСК Гамма Плюс” згідно з методикою для даного приладу [31, 32]. Для визначення ^{90}Sr проводили селективне радіохімічне виділення осадженням оксалатів. Визначення ^{90}Sr проводили на бета-спектрометричному тракті УСК “Гамма Плюс” [31]. Дані досліджень обробляли статистичним методом із використанням програми Microsoft Excel.

Основні результати дослідження. Головними овочевими культурами, які вирощувалися на присадибних ділянках, були морква, огірки, картопля, капуста, помідори, кабачки, столові буряки, цибуля, перець та редька. Дані досліджень були проведені протягом 2015–2018 рр. Досліджено активності ^{137}Cs і ^{90}Sr в овочевих культурах та розраховано коефіцієнти їхнього переходу на присадибних ділянках. Відповідно до даних, наведених на рисунках 1, 2, видно, що найменша активність ^{137}Cs була в картоплі, цибулі й огірках. У кабачках та солодкому перці вона виявилася у 2 рази вищою, моркві й помідорах – майже в 4, буряках і редьці – майже у 8, а квасолі – в 11 разів вищою.

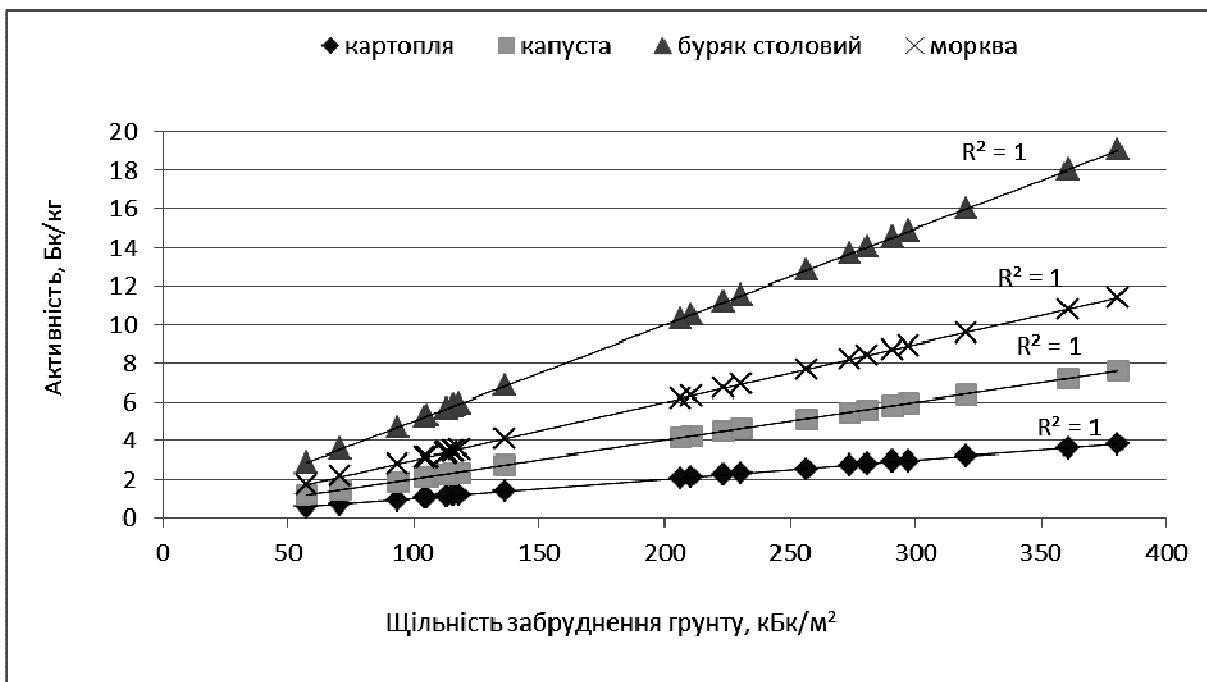


Рис. 1. Залежність між активністю ^{137}Cs і щільністю забруднення ґрунту.

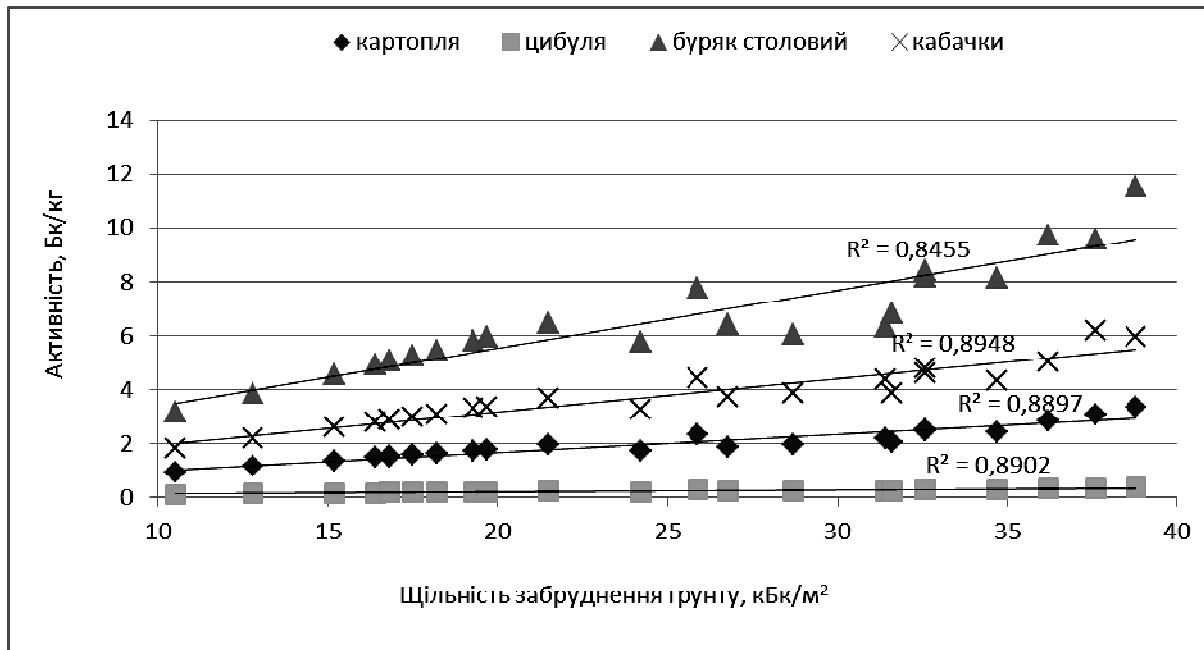


Рис. 2. Залежність між активністю ⁹⁰Sr і щільністю забруднення ґрунту.

Так, у середньому активність ¹³⁷Cs у картоплі складала 2,83 Бк/кг, капусті – 5,67, буряках столових – 13,93, моркві – 8,45, цибулі – 2,84, помідорах – 8,36, огірках – 2,85, кабачках – 5,65, солодкому перці – 5,65, редьці – 16,75 та квасолі – 26,54 Бк/кг.

Активність ⁹⁰Sr у картоплі була 2,70 Бк/кг, капусті – 2,53, столових буряках – 9,0, моркві – 7,98, цибулі – 0,34, помідорах – 0,60, огірках – 0,62, кабачках – 4,67, солодкому перці – 1,10, редьці – 7,45 та квасолі – 7,87 Бк/кг. З отриманих даних дослідження активності ⁹⁰Sr в овочевих культурах ми спостерігаємо, що найменша його активність була в цибулі, у 2 рази вищою – у помідорах та огірках, у 4 – у перці солодкому, майже в 10 – у картоплі та капусті, у 20 – у кабачках та у 30 разів була вищою в столових буряках, моркві й квасолі.

Коефіцієнти переходу ¹³⁷Cs із ґрунту в овочеві культури, які вирощені в III зоні радіоактивного забруднення, накопичують від 0,01 до 0,09, а ⁹⁰Sr – від 0,01 до 0,30 (рис. 3). Найнижчий коефіцієнт переходу ¹³⁷Cs у картоплі, цибулі та огірках (0,01). У капусті, кабачках та перці солодкому коефіцієнт переходу у 2 рази вищий (0,03), у моркві та помідорах – у 3 (0,04), у буряках – у 5, у редьці – в 6 та квасолі – у 9 разів вищий.

Найменший коефіцієнт переходу ⁹⁰Sr у цибулі (0,01), у помідорах та огірках він у 2 рази вищий (0,02), у перці – у 4 (0,04), картоплі та капусті – у 9 (0,09), а в буряків столових, редьці, моркві та квасолі – у 27–30 разів вищий.

Згідно з ГН 6.6.1.1-130-2006 «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr в продуктах харчування і питній воді», активність ¹³⁷Cs в картоплі не має переважати 60 Бк/кг, у свіжих овочевих і бобових культурах – 20 Бк/кг, а ⁹⁰Sr – 40 Бк/кг у картоплі та 20 Бк/кг у свіжих овочевих і бобових культурах. Відповідно, овочева продукція відповідає критеріям радіаційної безпеки. [35]

Із даних ми бачимо, що в середньому найменша активність ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr в овочевих культурах, які були вирощені в селі Тарасівка вдвічі нижча, у порівнянні з продукцією із села Йосипівка. Таким чином, у середньому активність ¹³⁷Cs у картоплі становила 1,10 Бк/кг, капусті – 3,10, буряках столових – 5,45, моркві – 3,67, цибулі – 1,23, помідорах – 3,45, огірках – 1,33, кабачках – 2,56, солодкому перці – 2,32, редьці – 6,44 та квасолі – 9,58 Бк/кг. Активність ⁹⁰Sr у картоплі була 1,51 Бк/кг, капусті – 1,52, столових буряках – 5,05, моркві – 4,71, цибулі – 0,17, помідорах – 0,35, огірках – 0,34, кабачках – 2,86, солодкому перці – 0,67, редьці – 4,37 та квасолі – 5,04 Бк/кг. Найменша активність ¹³⁷Cs була в огірках, картоплі, цибулі, у кабачках і солодкому перці вона була у 2 рази, моркві й помідорах – майже в 4, буряках і редьці – майже у 8, а квасолі – у 10 разів вищою. Найнижча активність ⁹⁰Sr була в цибулі, у 2 рази вищою – в помідорах

та огірках, у 4 – в солодкому перці, майже в 10 – у картоплі й капусті, у 20 – в кабачках і у 30 разів вищою – в буряках столових, моркві і квасолі.

Як зазначалося вище, накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr овочевими культурами залежить від властивостей їх мінерального живлення. Таким чином, рослини, які містять чимало калію, накопичують більше радіоактивного цезію, а культури, які містять багато кальцію, вміщують у себе більше радіоактивного стронцію. Згідно з даними літературних джерел, вміст калію в білокачанній капусті становить 190 мг/100 гр, буряках столових – 278, моркві – 195, помідорах – 304, огірках – 157/100 гр, перці солодкому – 145, редьці – 265 мг/100 гр. Кальцію в капусті міститься 53 мг/100 г, буряках столових – 42, моркві – 49, помідорах – 15, огірках – 24, перці солодкому – 19, цибулі – 27, редьці – 37 мг/100 г. Коефіцієнти переходу ^{137}Cs і ^{90}Sr із ґрунту в овочеві культури, які були вирощені на приватних ділянках, майже однакові та складають ^{137}Cs – від 0,01 до 0,09 і ^{90}Sr – від 0,01 до 0,30 (рис. 3).

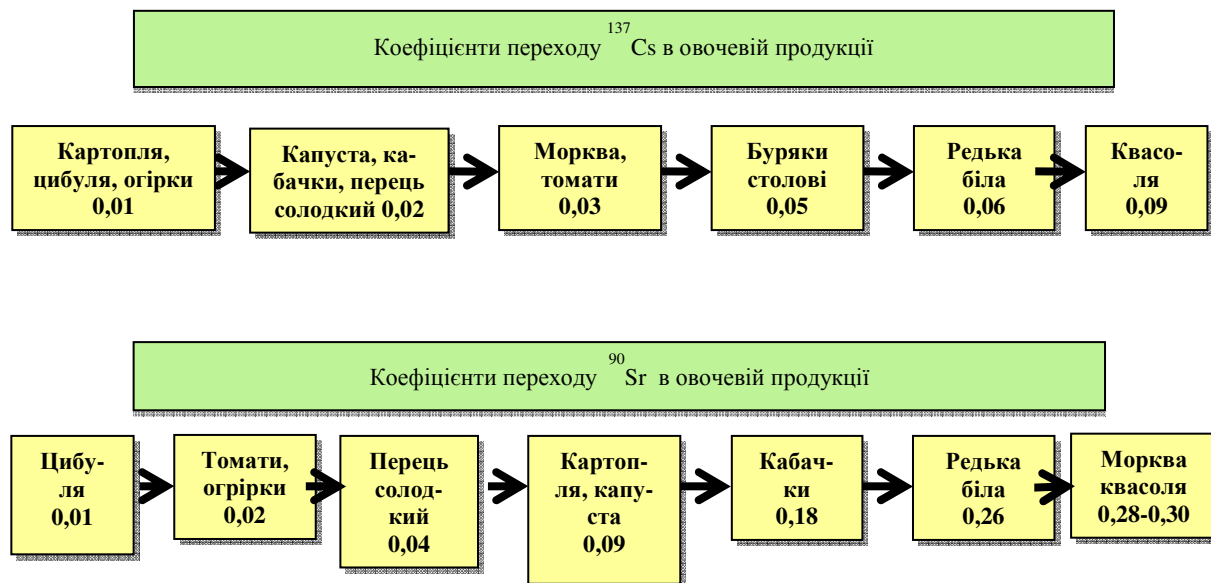


Рис. 3. Коефіцієнти переходу ^{137}Cs і ^{90}Sr в овочеву продукцію.

Це можна пояснити тим, що ґрунти на присадибних ділянках даних населених пунктів – це чорноземи типові легко- та середньосуглинкові із середнім вмістом гумусу (3,3 – 3,6 %), із нейтральною реакцією середовища водної витяжки (6,80 – 7,72) та щільністю ґрунту 1,18 – 1,25 г/см³, та середнім вмістом обмінного калію (82 – 120 мг/кг) і кальцію (15 – 20 мг-екв/100 г). Ми з'ясували, що найменший коефіцієнт переходу ^{137}Cs у картоплі, цибулі й огірках (0,01). У білокачанній капусті, кабачках і перці солодкому коефіцієнт переходу у 2 рази вищий (0,02), у моркві й помідорах – у 3 (0,03), у буряках – у 5, редьці – в 6, а квасолі – у 9 разів вищий. Найнижчий коефіцієнт переходу ^{90}Sr спостерігається в цибулі (0,01), у помідорах та огірках він у 2 рази вищий (0,02), у перці – в 4 (0,04), картоплі та капусті – у 9 (0,09), а в буряках столових, моркві, білій редьці та квасолі – у 28–30 разів вищий. Дані досліджень, що були здійснені протягом 2016–2018 рр., свідчать про те що, між активністю ^{137}Cs і ^{90}Sr в овочевих культурах й щільністю забруднення ґрунту є пряма пропорційна залежність.

Дані проведених досліджень свідчать, що між активністю ^{137}Cs і ^{90}Sr в урожаєх овочевих культур і щільністю забруднення ґрунту є пряма пропорційна залежність. Результати досліджень дають можливість на основі виявлених коефіцієнтів переходу ^{137}Cs і ^{90}Sr спрогнозувати забруднення даними радіонуклідами продукції рослинництва, що буде вирощуватися на радіоактивно забруднених територіях Центрального Лісостепу України.

Висновки. 1. Проведені нами дослідження доводять, що овочева продукція, яка була отримана в населених пунктах Йосипівка та Тарасівка, не перевищує ДР – 2006, тобто вона цілком придатна для використання. Але, незважаючи на це, варто зауважити, що дані досліджень свідчать про вміст штучних радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr , які раніше в природі самостійно не існували, тому потрібно проводити постійний контроль за їх вмістом в агроєкосистемах.

2. Визначено коефіцієнти переходу радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr із ґрунту (чорнозем типовий) у продукцію рослинництва, що вирощувалася на присадибних ділянках. Це дозволить у подальшому спрогнозувати забруднення ^{137}Cs і ^{90}Sr овочевої продукції на радіоактивно забруднених територіях Центрального Лісостепу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Atlas of Cesium deposition on Europe after the Chernobyl accident. Luxembourg, European Commission, 1998, ISBN 92-828-3140-X. 63 p.
2. Kashparov Valerii. Report Chernobyl: 30 Years of Radioactive Contamination Legacy. Report. Lead writer and coordination of report professor Valerii Kashparov. Kyiv: UIAR, 2016. DOI: 10.13140/RG.2.1.3810.9682. 60 p.
3. Beresford N.A., Fesenko S., Konoplev A., Skuterud L., Smith J.T., Voigt G. Thirty years after the Chernobyl accident: what lessons have we learnt? Journal of Environmental Radioactivity. 2016. V. 157. P. 77–89. URL: <http://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.02.003>.
4. Гудков І. М., Кашпаров В. О. Актуальні завдання і проблеми сільськогосподарської радіоекології через чверть століття після аварії на Чорнобильській АЕС. Вісник ЖНАЕУ. 2012. № 1. Т. 1. С. 27–36.
5. Гудков І.М., Лазарев М.М. Особливості ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіонуклідами територіях Лісостепу. Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства в Лісостепу України. К., 2003. Вид-во ТОВ "Алефа". Т. 1. С. 747–775.
6. Зубець М.В., Прістер Б.С., Алексахін Р.М., Богдєвич І.М., Кашпаров В.А. Актуальні проблеми і завдання наукового супроводу виробництва сільськогосподарської продукції в зоні радіоактивного забруднення Чорнобильської АЕС. Агроекологічний журнал. 2011. № 1. С. 3–20.
7. Кашпаров В.А., Поліщук С.В., Отрешко Л.М. Радіологічні проблеми ведення сільськогосподарського виробництва на забрудненій в результаті Чорнобильської катастрофи території України. Чорнобильський науковий вісник. Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. 2011. № 2 (38). С. 13–30.
8. Прістер Б.С. Проблеми радіаційного захисту населення на територіях, забруднених у наслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Вісник НАН України. 2011. № 4. С. 3–11.
9. Романчук Л.Д. Радіоекологічна оцінка формування дозового навантаження у мешканців сільських територій Полісся України: монографія. Житомир: Полісся, 2015. 300 с.
10. Фещенко В.П., Гуреля В.В. Прогностичний аналіз екологічної безпеки сільськогосподарського виробництва на радіоактивно забруднених агроландшафтах Полісся. Збалансоване природокористування. 2016. № 3. С. 25–30.
11. Якименко Г.М., Швиденко І.К., Райчук Л.А., Паньковська Г.П. Визначення рівня радіаційного забруднення бульб картоплі, вирощеної в умовах Українського Полісся. Науковий вісник НЛТУ України. 2013. Вип. 23.4. С. 105–110.
12. Gerasimenko V., Rozputny O., Pertsovyi I., Skyba V., Saveko M. Migration and prognosis of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in vegetable produce: the case of villages of the Central Forest-Steppe of Ukraine in the remote period after Chernobyl Disaster. Ukrainian Journal of Ecology. 2017. № 7(3). С. 246–250. DOI: http://dx.doi.org/10.15421/2017_75.
13. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97>.
14. Schuller P., Handl I., Tramper R. Dependence of the ^{137}Cs soil - to - plant transfer factor on soil parameters. Health Physics. 1988. Vol. 55, № 3. P. 575–577.
15. Herasymenko V., Pertsovyi I., Rozputnyi O. Assessment of the radiation safety of the rural population of the Central forest-steppe of Ukraine in the remote period after the Chernobyl catastrophe. Proceedings of the 2nd Annual Conference «Technology transfer: fundamental principles and innovative technical solutions». Tallinn, Estonia, DKLex Academy OÜ and «Scientific Route» OÜ, November 23, 2018. P. 30–33. DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2585-6847.2018.00768>.
16. Дутов О.І., Ландін В.П., Мельничук А.О., Гриник О.І. Радіаційно-екологічні аспекти використання забруднених земель у віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС. Агроекологічний журнал. 2015. № 1. С. 115–121. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2015_1_16.
17. Чоботько Г.М., Ландін В.П., Райчук Л.А. Основні чинники формування доз внутрішнього опромінення населення радіоактивно забруднених регіонів у віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС. Радіоекологія-2014: Мат. наук.-практ. конф. з міжнародною участю (Київ, 24–26 квітня 2014 р.). Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка. С. 355–358.
18. Дутов О.І., Єрмолаєв М.М. Радіаційно-екологічні аспекти використання ґрунтів, забруднених радіонуклідами. Вісник аграрної науки. 2013. № 2. С. 51–54.
19. Raichuk L.A. The elements of the technique for evaluating the population internal irradiation doses formation to the remote stage of consequences of the Chernobyl NPP accident overcoming. Scientific Bulletin of UNFU. 2014. 24.07. 150_6.
20. Chobotko G., Raychuk L., Shvidenko I., McDonald I., The issue of radioactive contamination in context of ecosystem services development. Agricultural science and practice. 2016. № 3. P. 48–53.
21. Чоботько Г.М., Ландін В.П., Райчук Л.А., Швиденко І.К., Уманський М.С. Оцінювання формування дози внутрішнього опромінення населення на віддаленому етапі подолання наслідків аварії на ЧАЕС. Вісник аграрної науки. 2015. № 7. С. 54–58. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2015_7_13.
22. Tsubokura M., Nomura S., Sakaiharu K., Kato S., Leppold C., Furutani T. Estimated association between dwelling soil contamination and internal radiation contamination levels after the 2011 Fukushima Daiichi nuclear accident in Japan. BMJ Open. 2016. 6. e010970. DOI: 10.1136/bmjopen_2015_010970.
23. Чоботько Г.М., Ландін В.П., Райчук Л.А., Швиденко І.К., Уманський М.С. До питання оцінювання формування дози внутрішнього опромінення населення на віддаленому етапі подолання наслідків аварії на Чорнобильській

АЕС. Збірник матеріалів XXIII щорічної наукової конференції Інституту ядерних досліджень НАН України. 2016. Випуск 4. С. 233–234.

24. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP PUBLICATION 119. 2012. ICRP, Published by Elsevier Ltd. 130 p.

25. Загальнодозиметрична паспортизація та результати ЛВЛ-моніторингу в населених пунктах України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської катастрофи. Дані за 2011 р. Збірка 14. К.: МОЗ України, НАМН України, МНС України, Держагенство України з управління зоною відчуження, ДУ «ННЦРМ НАМН України», НДІ радіаційного захисту АТН України 2012. URL: <http://www.mns.gov.ua/files/2012/8/13/Zbirka14.pdf>.

26. Jelin B.A., Sun W., Kravets A., Naboka M., Stepanova E.I., Vdovenko V.Y. Quantifying annual internal effective ¹³⁷Cesium dose utilizing direct body_burden measurement and ecological dose modeling. *J. of Exp. Sci. and Environ. Epidemiol.* 2016, 26(6), 546–53. DOI: 10.1038/jes.2015.6.

27. Kimura Y., Okubo Y., Hayashida N., Takahashi J., Gutevich A., Chorniy S. Evaluation of the relationship between current internal ¹³⁷Cs exposure in residents and soil contamination west of Chernobyl in Northern Ukraine. *PLoS One.* 2015, 10(9), e0139007. DOI: 10.1371/journal.pone.0139007.

28. Uematsu S., Vandenhove H., Sweeck L., Van Hees M., Wannijn J., Smolders E. Variability of the soil-to-plant radiocaesium transfer factor for Japanese soils predicted with soil and plant properties *J. Environ. Radioact.*, 153, 2016. P. 51–60. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.12.012/>

29. Skuterud H., Thørring M.A., Ytre-Eide. Use of total ¹³⁷Cs deposition to predict contamination in feed vegetation and reindeer 25 years after Chernobyl. ICRER 2014 – Third International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, 7–12 September 2014 (Barcelona, Spain). URL: <http://radioactivity2014.pacifico-meetings.com/>

30. Beresford N.A., Fesenko S., Konoplev A., Smith J.T., Skuterud L., Voigt G. Thirty years after the Chernobyl accident: What lessons have we learnt? *J. Environ. Radioact.*, 157. 2016. P. 77–89. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.02.003>

31. Методика измерения активности бета-излучающих радионуклидов в счетных образцах с использованием программного обеспечения «Прогресс». М., 1996. 27 с.

32. Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс». М., 1996. 38 с.

33. Методичні рекомендації з відбору зразків ґрунту для радіоізотопного аналізу при обстеженні сільгоспугідь. Довідник для радіологічних служб Мінсільгоспвиробу України. К. 1997. С. 14–15.

34. Инструктивно-методические указания: Реконструкция и прогноз доз облучения населения, проживающего на территориях Украины, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии ЧАЭС: Методика-97. МЗ Украины, АМН Украины, МНС Украины, НЦРМ Украины, НИИ РЗ АТН Украины. К., 1998. 76 с.

35. ГН 6.6.1.1-130-2006. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr у продуктах харчування та питній воді. Державні гігієнічні нормативи. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06>.

REFERENCES

1. Atlas of Cesium deposition on Europe after the Chernobyl accident. Luxembourg, European Commission, 1998, ISBN 92-828-3140-X. 63 p.

2. Kashparov, Valerii. Report Chernobyl: 30 Years of Radioactive Contamination Legacy. Report. Lead writer and coordination of report professor Valerii Kashparov. Kyiv, UIAR, 2016, DOI: 10.13140/RG.2.1.3810.9682. 60 p.

3. Beresford, N.A., Fesenko, S., Konoplev, A., Skuterud, L., Smith, J.T., Voigt, G. Thirty years after the Chernobyl accident: what lessons have we learnt? *Journal of Environmental Radioactivity.* 2016, V. 157, pp. 77–89. Retrieved from: <http://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.02.003>.

4. Gudkov, I.M., Kashparov, V.O. Aktual'ni zavdannja i problemy sil'skogospodars'koi' radioekologii' cherez chvert' stolittja pislja avarii' na Chornobyl's'kij AES [Actual problems and problems of agricultural radioecology in a quarter century after the Chernobyl disaster]. *Visnyk ZhNAEU [Bulletin of ZNAMEU]*, 2012, no. 1, Vol. 1, pp. 27–36.

5. Gudkov, I.M., Lazarev, M.M. Osoblyvosti vedennja sil'skogospodars'kogo vyrobnyctva na zabrudnjenyh radionuklidamy terytorijah Lisostepu [Features of agricultural production on contaminated radionuclides in the forest-steppe areas]. *Naukove zabezpechennja stalogo rozvytku sil's'kogo gospodarstva v Lisostepu Ukrai'ny [Scientific provision of sustainable development of agriculture in the forest-steppe of Ukraine]*. Kyiv, 2003, Publishing House LLC "Alefa", Vol. 1, pp. 747–775.

6. Zubec', M.V., Prister, B.S., Aleksahin, R.M., Bogdevich, I.M., Kashparov, V.A. Aktual'ni problemy i zavdannja naukovogo suprovodu vyrobnyctva sil'skogospodars'koi' produkcii' v zoni radioaktyvnogo zabrudnennja Chornobyl's'koi' AES [Actual problems and tasks of scientific support of production of agricultural products in the zone of radioactive contamination of the Chernobyl Nuclear Power Plant]. *Agroekologichnyj zhurnal [Agroecological journal]*, 2011, no. 1, pp. 3–20.

7. Kashparov, V.A., Polishhuk, S.V., Otreshko, L.M. Radiologichni problemy vedennja sil'skogospodars'kogo vyrobnyctva na zabrudnenij v rezul'tati Chornobyl's'koi' katastrofy terytorii' Ukrai'ny [Radiological problems of agricultural production on the territory of Ukraine contaminated as a result of the Chernobyl disaster]. *Chornobyl's'kyj naukovyj visnyk. Bjuletен' ekologichnogo stanu zony vidchuzhennja ta zony bezumovnogo (obov'jazkovogo) vidselennja [Chernobyl Scientific Bulletin. Bulletin on the ecological status of the exclusion zone and the zone of unconditional (mandatory) resettlement]*, 2011, no. 2 (38), pp. 13–30.

8. Prister, B.S. Problemy radiacijnogo zahystu naselennja na terytorijah, zabrudnjenyh u naslidok avarii' na Chornobyl's'kij AES [Problems of radiation protection of the population in the territories contaminated as a result of the Chernobyl accident]. *Visnyk NAN Ukrai'ny [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]*, 2011, no. 4, pp. 3–11.

9. Romanchuk, L.D. (2015). Radioekologichna ocinka formuvannja dozovogo navantazhennja u meshkanciv sil's'kyh terytorij Polissja Ukrai'ny [Radioecological assessment of the formation of the dose load of the inhabitants of the rural territories of the Polissya of Ukraine]. *Zhytomyr, Polissja*, 300 p.

10. Feshhenko, V.P., Gurelja, V.V. Prognostychnyj analiz ekologichnoi' bezpeky sil'skogospodars'kogo vyrobnytva na radioaktyvno zabrudnenyh agrolandshaftah Polissja [Prognostic analysis of ecological safety of agricultural production at radioactively contaminated agricultural landscapes of Polissya]. Zbalansovane pryrodokorystuvannja [Balanced natural resources], 2016, no. 3, pp. 25–30.
11. Jakymenko, G.M., Shvydenko, I.K., Rajchuk, L.A., Pan'kovs'ka, G.P. Vyznachennja rivnja radiacijnogo zabrudnennja bul'b kartopli, vyroshhenoi' v umovah Ukrai'ns'kogo Polissja [Determination of the level of radiation contamination of potato tubers grown in the Ukrainian Polissya]. Naukovyj visnyk NLTU Ukrai'ny [Scientific herald of NLTU of Ukraine], 2013, Issue 23.4, pp. 105–110.
12. Gerasimenko, V., Rozputny, O., Pertsovyi, I., Skyba, V., Saveko, M. Migration and prognosis of radionuclides ^{137}Ss and ^{90}Sr in vegetable produce: the case of villages of the Central Forest-Steppe of Ukraine in the remote period after Chernobyl Disaster. Ukrainian Journal of Ecology. 2017, №7(3), pp. 246–250. Retrieved from: http://dx.doi.org/10.15421/2017_75.
13. Normy radiacijnoi' bezpeky Ukrai'ny (NRBU-97) [Norms of radiation safety of Ukraine (NRBU-97)]. Derzhavni gi-gijenichni normatyvy [State Hygiene Standards]. Retrieved from: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97>.
14. Schuller, P., Handl, I., Tramper, R. Dependence of the ^{137}Cs soil - to - plant transfer factor on soil parameters. Health Physics. 1988, Vol. 55, no. 3, pp. 575–577.
15. Herasymenko, V., Pertsovyi, I., Rozputnyi, O. Assessment of the radiation safety of the rural population of the Central forest-steppe of Ukraine in the remote period after the Chernobyl catastrophe. Proceedings of the 2nd Annual Conference «Technology transfer: fundamental principles and innovative technical solutions». Tallinn, Estonia, DKLex Academy OÜ and «Scientific Route» OÜ, November 23, 2018. pp. 30–33. Retrieved from: DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2585-6847.2018.00768>.
16. Dutov, O.I., Landin, V.P., Mel'nychuk, A.O., Grynyk, O.I. Radiacijno-ekologichni aspekty vykorystannja zabrudnenyh zemel' u viddalenyj period pislja avarii' na Chornobyl's'kij AES [Radiation-ecological aspects of the use of contaminated lands in the remote period after the Chernobyl disaster]. Agroekologichnyj zhurnal [Agroecological journal], 2015, no. 1, pp. 115–121. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2015_1_16.
17. Chobot'ko, G.M., Landin, V.P., Rajchuk, L.A. Osnovni chynnyky formuvannja doz vnutrishn'ogo oprominennja naselennja radioaktyvno zabrudnenyh regioniv u viddalenyj period pislja avarii' na Chornobyl's'kij AES [The main factors of the formation of doses of internal radiation of the population of radioactive contaminated regions in the remote period after the Chernobyl accident]. Radioekologija-2014: Mat. nauk.-prakt. konf. z mizhnarodnoju uchastju (Kyj'v, 24–26 kvitnja 2014 r.) [Radioecology 2014: Mat. sci. pract. conf. with international participation (Kyiv, April 24-26, 2014)]. Zhytomyr, Publishing house ZhDU named after I. Franko, pp. 355–358.
18. Dutov, O.I., Jermolajev, M.M. Radiacijno-ekologichni aspekty vykorystannja g'runtiv, zabrudnenyh radionuklidamy [Radiation-ecological aspects of the use of soils contaminated with radionuclides]. Visnyk agrarnoi' nauky [Bulletin of Agrarian Science], 2013, no. 2, pp. 51–54.
19. Raichuk, L.A. The elements of the technique for evaluating the population internal irradiation doses or formation to the remote stage of consequences of the Chernobyl NPP accident overcoming. Scientific Bulletin of UNFU. 2014, 24.07, 150_6.
20. Chobotko, G., Raychuk, L., Shvidenko, I., McDonald, I. The issue of radioactive contamination in context of ecosystem services development. Agricultural science and practice. 2016, no. 3, pp. 48–53.
21. Chobot'ko, G.M., Landin, V.P., Rajchuk, L.A., Shvydenko, I.K., Umans'kyj, M.S. Ocinjuvannja formuvannja dozy vnutrishn'ogo oprominennja naselennja na viddalennomu etapi podolannja naslidkiv avarii' na ChAES [Evaluation of the formation of the dose of internal exposure of the population at the remote stage of overcoming the consequences of the Chernobyl accident]. Visnyk agrarnoi' nauky [Bulletin of Agrarian Science], 2015, no. 7, pp. 54–58. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2015_7_13.
22. Tsobokura, M., Nomura, S., Sakaiharu, K., Kato, S., Leppold, C., Furutani, T. Estimated association between dwelling soil contamination and internal radiation contamination levels after the 2011 Fukushima Daiichi nuclear accident in Japan. BMJ Open. 2016, 6, e010970. doi:10.1136/bmjopen_2015_010970.
23. Chobot'ko, G.M., Landin, V.P., Rajchuk, L.A., Shvydenko, I.K., Umans'kyj, M.S. Do pytannja ocinjuvannja formuvannja dozy vnutrishn'ogo oprominennja naselennja na viddalennomu etapi podolannja naslidkiv avarii' na Chornobyl's'kij AES [On the issue of evaluation of the formation of the dose of internal exposure of the population at the remote stage of overcoming the consequences of the Chernobyl accident]. Zbirnyk materialiv HHIII shhorichnoi' naukovo'i konferencii' Instytutu jadernyh doslidzhen' NAN Ukrai'ny [Collection of Materials of the XXIII Annual Scientific Conference of the Institute of Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine], 2016, Issue 4, pp. 233–234.
24. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP PUBLICATION 119. 2012. ICRP, Published by Elsevier Ltd. 130 p.
25. Zagal'nodozymetrychna pasportyzacija ta rezul'taty LVL-monitoryngu v naselenyh punktah Ukrai'ny, jaki zaznali radioaktyvnogo zabrudnennja pislja Chornobyl's'koi' katastrofy []. Dani za 2011 r. Zbirka 14 [General dosimetric certification and results of local monitoring in the settlements of Ukraine that suffered radioactive contamination after the Chernobyl disaster. Data for 2011. Collection 14]. Kyiv, Ministry of Health of Ukraine, National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Ministry of Emergencies of Ukraine, State Agency of Ukraine for Management of Exclusion Zone, State Research Institute of Radiation Protection ATN of Ukraine 2012, NNSCRM NAMS of Ukraine. Retrieved from: <http://www.mns.gov.ua/files/2012/8/13/Zbirka14.pdf>.
26. Jelin, B.A., Sun, W., Kravets, A., Naboka, M., Stepanova, E.I., Vdovenko, V.Y. Quantifying annual internal effective $^{137}\text{Cesium}$ dose utilizing direct body_burden measurement and ecological dose modeling. J. of Exp. Sci. and Environ. Epidemiol. 2016, 26(6), 546_53. doi: 10.1038/jes.2015.6.
27. Kimura, Y., Okubo, Y., Hayashida, N., Takahashi, J., Gutevich, A., Chorniy, S. Evaluation of the relationship between current internal ^{137}Cs exposure in residents and soil contamination west of Chernobyl in Northern Ukraine. PLoS One. 2015, 10(9), e0139007. doi: 10.1371/journal.pone.0139007.

28. Uematsu, S., Vandenhove, H., Sweeck, L., Van Hees, M., Wannijn, J., Smolders, E. Variability of the soil-to-plant radiocaesium transfer factor for Japanese soils predicted with soil and plant properties. *J. Environ. Radioact.*, 153, 2016, pp. 51–60. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.12.012/>
29. Skuterud, H., Thørring, M.A., Ytre-Eide. Use of total ^{137}Cs deposition to predict contamination in feed vegetation and reindeer 25 years after Chernobyl. ICRER 2014 – Third International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, 7–12 September 2014 (Barcelona, Spain). Retrieved from: <http://radioactivity2014.pacifico-meetings.com/>
30. Beresford, N.A., Fesenko, S., Konoplev, A., Smith, J.T., Skuterud, L., Voigt, G. Thirty years after the Chernobyl accident: What lessons have we learnt? *J. Environ. Radioact.*, 157, 2016, pp. 77–89. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.02.003>
31. Metodika izmerenija aktivnosti beta-izluchajushhikh radionuklidov v schetnyh obrazcah s ispol'zovaniem programmogo obespechenija «Progress» [Methods of measuring the activity of beta-emitting radionuclides in counting samples using the software "Progress"]. Moscow, 1996, 27 p.
32. Metodika izmerenija aktivnosti radionuklidov v schetnyh obrazcah na scintillacionnom gamma-spektrometre s ispol'zovaniem programmogo obespechenija «Progress» [Methods of measuring the activity of radionuclides in counting samples on a scintillation gamma spectrometer using the software "Progress"]. Moscow, 1996, 38 p.
33. Metodichni rekomendacii' z vidboru zrazkiv g'runtu dlja radioizotopnogo analizu pry obstezhenni sil'gospugid' [Methodical recommendations on the selection of soil samples for radioisotope analysis during field survey]. Dovidnyk dlja radiologichnyh sluzhb Minsil'gospoprodu Ukraïny [Directory for radiological services of the Ministry of Agriculture and Food of Ukraine]. Kyiv, 1997, pp. 14–15.
34. Instruktivno-metodicheskie ukazaniya: Rekonstrukcija i prognoz doz obluchenija naselenija, prozhivajushhego na territorijah Ukraïny, podvergshijsja radioaktivnomu zagrjazneniju v rezul'tate avarii ChAJeS: Metodika-97. MZ Ukraïny, AMN Ukraïny, MNS Ukraïny, NCRM AMN Ukraïny, NII RZ ATN Ukraïny [Instructive and methodological instructions: Reconstruction and projection of radiation doses to the population living in the territories of Ukraine exposed to radioactive contamination as a result of the Chernobyl NPP accident: Methodology-97. Ministry of Health of Ukraine, Academy of Medical Sciences of Ukraine, Ministry of Taxes and Duties of Ukraine, NCRMN of the Academy of Medical Sciences of Ukraine, Scientific Research Institute of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine]. Kyiv, 1998, 76 p.
35. GN 6.6.1.1-130-2006. Dopustymi rivni vmistu radionuklidiv ^{137}Cs i ^{90}Sr u produktah harchuvannja ta pytnij vodi [GN 6.6.1.1-130-2006. Permissible levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides in food and drinking water]. Derzhavni gi-gijenichni normatyvy [State Hygiene Standards]. Retrieved from: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06>.

**Миграция ^{137}Cs и ^{90}Sr на черноземах типичных в овощную продукцию Центральной Лесостепи Украины
А.И. Распутный, В.Ю. Герасименко, И.В. Перцевой, В.В. Скиба, М.Е. Савеко**

Для выполнения поставленной цели был осуществлен отбор образцов продукции растениеводства и почвы на частных участках жителей сел Осиповка и Тарасовка. Исследуемые территории Белоцерковского района расположены в северо-восточной части правобережной Лесостепи Украины и представлены преимущественно черноземами типичными малогумусными на лесах в пределах межречных равнин. Установлено загрязнение ^{137}Cs и ^{90}Sr овощной продукции, выращенной на приусадебных участках жителей сел Осиповка и Тарасовка Белоцерковского района, которые подверглись радиоактивному загрязнению и находятся в южной части Киевской области, Центральной Лесостепи Украины. Выяснено содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах и установлена плотность загрязнения приусадебных участков данных сел. Вычислено и установлено коэффициенты перехода поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы чернозема типичного в растения, в частности огурцы, картофель, лук репчатый, свеклу столовую, морковь, помидоры, капусту белокочанную, что дает возможность на основе выясненных коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr спрогнозировать загрязнения данными радионуклидами продукции растениеводства, которая будет выращиваться на радиоактивно загрязненных территориях Центральной Лесостепи Украины. Уменьшение перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в продукцию растениеводства – одна из основных задач ведения сельскохозяйственного производства на загрязненных радионуклидами землях. Исследования позволяют более подробно выяснить современное состояние миграции данных радионуклидов в звене "почва – растение" в агроэкосистемах Центральной Лесостепи Украины с последующим прогнозированием.

Ключевые слова: радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr , плотность загрязнения, коэффициент перехода.

**Migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr from black soil into vegetable of the Central part of the Forest-steppe zone of Ukraine
O. Rozputnyi, V. Herasymenko, I. Pertsovyi, V. Skyba, M. Saveko**

Regardless of the time after the Chernobyl disaster, the problem of radioactive contamination is very urgent. At present, 6.7 million hectares of our country remain contaminated, of which 1.2 million hectares of land are contaminated with ^{137}Cs with a density of 42 to 589 kBq/m^2 (1–15 Ci/km^2). There are 2,161 settlements in the radioactively contaminated territories, where there are about 3 million inhabitants. For the inhabitants of rural areas of these settlements, the main part of food products belongs to the products obtained from the land, so the definition of plant contamination by artificial radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr on the lands affected by radioactive contamination. The Chernobyl accident is relevant, since the internal dose of radiation is formed due to consumed products, grown in private plots. Reducing the transition of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr from soil to crop production is one of the main tasks of agricultural production on contaminated radionuclide lands. The realization of these researchers will clarify the current state of migration of data of radionuclides in the soil-vegetation link in the agro eco systems of the Central Forest-steppe of Ukraine.

From the moment of the Chernobyl accident, leading scientists conducted a sufficiently large number of scientific studies on the migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in agricultural production facilities, their accumulation in food products and the assessment of human exposure doses. The focus of the scholars focused on the territory of Polissya. Preferably migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in separate links and systems of the trophic chain. In addition, somewhat more attention is paid to ^{137}Cs , which

is the main dose-forming radionuclide. In addition, in forest-steppe areas that are radioactively contaminated, a significant proportion of pollution occurs at ^{90}Sr , whose migration rate, according to scientists, will gradually increase. All these data led to the need for a detailed study of the state of migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the soil-vegetation chain of agro eco systems of agricultural enterprises and private parts of the central forest-steppe affected by radioactive contamination because of the Chernobyl accident in the remote period.

The purpose of these studies was to study the migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the chain of soil plants in the villages Yosypivka and Tarasivka of the Kyiv region of the central forest-steppe of Ukraine, as well as the determination of the coefficients of transition of ^{137}Cs and ^{90}Sr from typical black soil to vegetable products for the next prognostication.

The investigated areas of the Bila Tserkva district are located in the north-eastern part of the right-bank forest-steppe region of Ukraine and are represented mainly by typical low-humus black soil in the forests within the boundary plains. In order to achieve this goal, selection of samples of crop production and soil was carried out on private plots of peasants of Yosypivka and Tarasivka villages of the Bila Tserkva district of Kyiv region according to generally accepted methods. The territory of these settlements fell into the zone of the "southern trace of radioactive contamination" and is associated with the third and fourth zones of radioactive contamination. After preparation of samples, the activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr was determined in the life safety department of the Bila Tserkva National Agrarian University at the USK Gamma Plus spectrometric complex according to the methodology for this device. To determine ^{90}Sr , selective radiochemical separation was performed by precipitation of oxalates. The ^{90}Sr determination was performed on the USC Gamma Plus beta spectrometric path. These studies were processed using the statistical method using the Microsoft Excel program.

The main vegetable crops grown on private plots were carrots, cucumbers, potatoes, cabbage, tomatoes, zucchini, onions, peppers and radish. These studies were conducted during 2016-2018. From the data of the research it is clear that the least activity of ^{137}Cs was in potatoes, onions and cucumbers. In zucchini and pepper, it appeared twice, carrots and tomatoes – almost four times, beets and radish – almost in 8, and beans – 11 times higher.

Our studies show that there is a direct proportional relationship between the activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the yield of vegetable crops and the level of the soil contamination. The research results make it possible, on the basis of the explained coefficient of transfer of ^{137}Cs and ^{90}Sr , to predict the contamination by plant radionuclides that will be grown in radioactive contaminated territories of the Central Forest-steppe of Ukraine. The coefficients of transition of ^{137}Cs from soil (typical black soil) to vegetable crops grown in the III zone of radioactive contamination accumulate from 0.01 to 0.09 and ^{90}Sr – from 0.01 to 0.30. The lowest coefficient of transition of ^{137}Cs in potatoes, onions and cucumbers (0.01). In cabbage, squash and pepper, the transition factor is twice as high (0.03), and in carrots and tomatoes it is three times higher (0.04), in beets – 5 times, radish – 6 and beans – in 9 times higher. The lowest transfer coefficient of ^{90}Sr in onions (0.01), in tomatoes and cucumbers it is 2 times higher (0.02), in pepper – 4 times higher (0.04), potatoes and cabbage – nine times higher (0.09), and in beets, radishes, carrots and beans in 27–30 times higher. The research conducted by us proves that the studied vegetable production, obtained in the settlements of Yosypivka and Tarasivka, does not exceed DR-2006, that is, it is quite suitable for use. The coefficients of the transition of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr from the soil (in this case, this typical black soil) to crop production grown on peasants' plots have been determined, which will allow to predict in the future the contamination of ^{137}Cs and ^{90}Sr of vegetable products on the radically contaminated territories of the Central Forest-Steppe data. The content of radionuclide contamination of vegetable products after 33 years of the Chernobyl disaster proves that the problem of monitoring, studying and forecasting of products is still very relevant.

Key words: ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides, pollution density, transition coefficient.

Надійшла 22.11.2018 р.