

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІКИ, ДОВКІЛЛЯ ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «ІНСТИТУТ ОХОРОНИ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ»



ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ОХОРОНА ҐРУНТІВ

Спеціальний випуск

**МАТЕРІАЛИ
ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«ЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ СЛІД У ҐРУНТАХ УКРАЇНИ:
НАУКОВИЙ ВИМІР ЧАСУ»,
*присвяченій 40-й річниці аварії на ЧАЕС***

м. Київ
28 квітня 2026 року



КИЇВ 2026

ОХОРОНА ҐРУНТІВ

ЗАСНОВНИК І ВИДАВЕЦЬ —
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «ІНСТИТУТ ОХОРОНИ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ»

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

ПАЛАМАРЧУК Р. П.

Відповідальний секретар

РОМАНОВА С. А., к.с.-г.н., старш.дослідник

Відповідальний редактор

ТЕВОНЯН О. І.

БОРТНІК А. М., к.с.-г.н.

ГРИЩЕНКО О. М., к.с.-г.н.

ГУНЧАК М. В., к.с.-г.н.

ДМИТРЕНКО О. В., к.с.-г.н., старш. дослідник

ЖУКОВА Я. Ф., к.б.н.

ЖУЧЕНКО С. І., к.с.-г.н., доцент

КРУПКО Г. Д., к.с.-г.н.

КУЛІДЖАНОВ Е. В., к.с.-г.н., доцент

МЕЛЬНИК М. А., к.с.-г.н.

СИРОВАТКО В. О., к.б.н.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

провулок Сеньківський, 3, м. Київ, 03190

Тел.: 044 356-53-21

e-mail: info@iogu.gov.ua

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 20620-10420ПР від 24.02.2014

Оригінал-макет ДУ «Держґрунтохорона»

Адреса: провулок Сеньківський, 3, м. Київ, 03190, тел.: (044) 356-53-21

© Охорона ґрунтів, 2026

ЗМІСТ

Р. П. Паламарчук, О. М. Грищенко Радіоекологічний моніторинг ґрунтів України: від наслідків Чорнобильської катастрофи до сучасного стану	6
Т. В. Ананьєва, Н. В. Ворошилова, Л. В. Доценко Роль штучних лісових насаджень у міграції радіоактивних елементів в екосистемі	10
В. В. Бугайов, В. І. Пасічняк, Л. П. Наконечний, С. О. Склонний Перспективи використання злакових багаторічних трав у фіторе mediaції радіоактивно забруднених агроландшафтів	11
О. І. Врадій, В. Р. Крілевич Радіологічна оцінка сірого лісового ґрунту за його мінерального удобрення	13
В.А. Гаврилюк, Ю. Л. Цапко Місцеві сировинні ресурси — високоефективні радіопротектори	14
А.С. Готвянська Негативний вплив кадмію на агроекосистеми та здоров'я людини	16
М. В. Гунчак Стан радіоактивного забруднення сільськогосподарських угідь лісостепової зони Чернівецької області	17
В. І. Гушук Моніторинг забруднення ґрунтів радіонуклідом ^{137}Cs на території Сарненського району Рівненської області	20
Н. Б. Демчишин Можливості вирощування рослин-радіопротекторів на прикладі золототисячника звичайного в умовах Карпатського регіону	21
К. Денисюк, А. Пушкар Після Чорнобиля: як ми будуємо інтелектуальний щит проти невидимої загрози	23
Б. Є. Дрозд, Л. М. Романчук, Л. О. Субин, Ю. С. Менчинський Динаміка радіоактивного забруднення ґрунтів Народицької громади Житомирської області	25
О. С. Забарний Використання ріпаку озимого (<i>Brassica napus</i> L.) у фіторе mediaції радіоактивно забруднених земель	26
Б. Б. Заячківська, В.І. Бондарчук Дистанційний моніторинг концентрацій забруднюючих речовин у повітрі над Чорнобильською зоною відчуження, пов'язаних з бойовими діями	28
В.Д. Зосімов, Г.Л. Некислих, Т.М. Воронецька, С.В. Романчук Інтеграція супутникових спостережень та методів штучного інтелекту для кількісної оцінки радіоактивного забруднення ґрунтів України	30
М. М. Ковальов Агроєкологічний стан та заходи для реабілітації чорноземів Кіровоградщини в умовах тривалого післяаварійного забруднення	32

Т. О. Кравченко, О. В. Дмитренко, А. С. Мелешко, Ю. В. Мелешко, В.М. Романенко, Т. М. Степаненко	
Стан радіоекологічних досліджень ґрунтів та продукції рослинництва в Черкаській області	34
Г. Д. Крупко	
Агротехнічні та агрохімічні заходи для зниження накопичення радіонуклідів у врожаї	36
І. С. Кузьменко, О. В. Дмитренко, Л. Г. Шило, Л. П. Молдован	
Екологічна трансформація ґрунтів Українського Полісся після Чорнобильської катастрофи на прикладі с. Вовчків Поліської громади	38
І. В. Литвиненко	
Ґрунтовий покрив як об'єкт воєнного ураження: масштаби деградації та пріоритети реабілітації	41
С. В. Мандебура	
Міграція радіонуклідів у системі «ґрунт — рослина» та їх вплив на якість сільськогосподарської продукції	43
С. В. Мандебура	
Сучасний рівень радіоактивного забруднення агроландшафтів України після Чорнобильської катастрофи	44
С. В. Мандебура	
Сучасні методи зниження радіоактивного забруднення в агросфері та їх ефективність	46
О. В. Мельник	
Міжнародні ГІС-проекти в Чорнобильській зоні відчуження	47
Р. М. Міщенко, О. В. Адаменко	
Чорнобильський слід: екологічні наслідки катастрофи та шляхи відновлення довкілля	48
О.С. Мороз, В. М. Фурман, В. П. Антонюк	
Запаси, поширення корисних копалин місцевого значення для використання у якості меліорантів на радіаційно забруднених ґрунтах	50
Б.І. Ореник, О.З. Бровко, Г.М. Дзяба, Л.С. Ковбасюк, С.М. Серединський	
Моніторинг ґрунтів у мережі стаціонарних майданчиків спостереження у Тернопільській області	51
Р. П. Паламарчук, Я. С. Цимбал., М. В. Алексеєнко, Т. О. Ільєнко	
Оптимізація системи удобрення в умовах радіоактивно забруднених ґрунтів Полісся	53
Р. В. Подзерей	
Сучасні аспекти реабілітації та відновлення ґрунтів	55
Л. А. Райчук	
Показник радіоекологічної критичності агроландшафтів як основа класифікації екосистем, картування та оптимізації землекористування на радіоактивно забруднених територіях Українського Полісся	56

В.О. Сапронова, Р.О. Новіцький Моніторинг радіонуклідів у водних екосистемах Придніпров'я як елемент біобезпеки	55
В. П. Сидорко, Н. Я. Сидорко Постчорнобильська спадщина та воєнні ризики: сучасна радіоекологічна ситуація в Україні	59
М. Стогнійчук, А. Пушкар Радіаційне ураження навколишнього середовища	61
М. П. Чаплінський, С. М. Бондаренко, Л. П. Погоріла, К. А. Нечипорук Чорнобильський слід у ґрунтах України: геоінформаційний аналіз і моделювання просторово-часової трансформації радіоактивного забруднення за даними лабораторного моніторингу та ДЗЗ	63

УДК 631.438:631.95

РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ: ВІД НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ ДО СУЧАСНОГО СТАНУ

Р. П. Паламарчук, д. філос., О.М. Грищенко, к.с-г.н.

Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ

E-mail: prp777@ukr.net; grischenkoel@ukr.net

Чорнобильська катастрофа стала однією з наймасштабніших техногенно-екологічних трагедій в історії людства, наслідки якої й через сорок років залишаються предметом наукового осмислення, суспільної пам'яті та державної відповідальності. Аварія на Чорнобильській атомній електростанції 26 квітня 1986 року докорінно змінила уявлення про безпеку ядерної енергетики, вразливість природних систем і довготривалість впливу техногенних чинників на довкілля.

За своїм потенційним масштабом ця катастрофа могла мати ще трагічніші наслідки. Лише завдяки самовідданості ліквідаторів, оперативним діям фахівців, науковців, військових, медиків, інженерів та працівників державних служб вдалося обмежити подальше поширення аварії, зменшити масштаби радіоактивного ураження та запобігти ще більшій екологічній і гуманітарній катастрофі.

Після аварії на ЧАЕС усі компоненти ландшафтної оболонки в межах поширення випадінь із радіоактивної хмари зазнали потужного забруднення. Особливого значення набули ґрунти, які стали основним природним сорбентом і депо штучних довгоживучих радіонуклідів. Саме у ґрунтовому покриві акумулювалися цезій-137, стронцій-90 та інші радіоактивні ізотопи, що визначили тривалі екологічні, аграрні та соціальні ризики.

Основним радіоактивним забруднювачем після аварії був цезій-137. Територія зі щільністю його забруднення понад 37 кБк/м² становила близько 53,5 тис. км², або приблизно 9% території України. Із них близько 4 млн га припадало на ліси, 1,13 млн га — на сільськогосподарські угіддя, решта — на населені пункти, дороги, водойми та інші землі.

Радіоактивне забруднення сільськогосподарських угідь стало одним із найтяжчих наслідків аварії, оскільки регіони найбільшого випадіння радіонуклідів — Українське Полісся та північна частина Лісостепу — мають переважно аграрну спрямованість. Саме тому Чорнобильська катастрофа небезпідставно розглядається не лише як техногенна й екологічна, а й як сільськогосподарська катастрофа.

Основним фактором радіаційної небезпеки для населення на забруднених територіях стало внутрішнє бета- та гамма-опромінення внаслідок надходження радіонуклідів цезію і стронцію з продуктами харчування. Доза опромінення

значною мірою визначалася інтенсивністю міграції радіонуклідів у трофічному ланцюзі «грунт — рослина — тварина — продукція тваринництва — людина».

На цей процес впливають тип ґрунту, його гранулометричний склад, кислотність, вміст гумусу, калію, кальцію, фосфору, водний режим, біологічні особливості культур, технології їх вирощування, раціони тварин і способи переробки сировини. Особливо вразливими виявилися кислі, малогумусні, легкі за гранулометричним складом ґрунти Полісся, які мають низьку ємність вбирання та слабкі буферні властивості.

Саме тому дослідження радіоактивно забруднених ґрунтів має виняткове значення. Воно дає змогу не лише фіксувати наслідки катастрофи, а й прогнозувати подальшу поведінку радіонуклідів у довкіллі, оцінювати ризики їх переходу у рослинницьку продукцію, визначати безпечні режими використання земель і розробляти заходи зі зниження забруднення продукції.

Важливу роль у цих процесах відіграла Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», правонаступник системи агрохімічної служби. Фахівці установи та її територіальних підрозділів здійснювали агрохімічне й радіологічне обстеження земель, вимірювання сумарної β -активності, потужності експозиційної дози, питомої активності цезію-137 і стронцію-90 у ґрунтах, а також оцінювали рівні переходу радіонуклідів у сільськогосподарську продукцію.

У 1986–1990 роках установою було проведено перші масштабні вимірювання радіаційних показників ґрунтів. Надалі широкомасштабне радіологічне обстеження сільськогосподарських угідь дозволило встановити ступінь забруднення земель, визначити найбільш критичні території, організувати диференційоване проведення контрзаходів і значною мірою запобігти виробництву радіоактивно забрудненої сільськогосподарської продукції. Окремої поваги заслуговує той факт, що багато фахівців Інституту були безпосередніми учасниками ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС.

Фахівці Інституту працювали в умовах підвищеної небезпеки, виконуючи складні завдання з обстеження територій, визначення рівнів радіоактивного забруднення, оцінювання стану ґрунтів і підготовки практичних рекомендацій для безпечного використання земель. Їхня участь у ліквідаційних заходах мала виняткове значення для держави, адже саме завдяки цим дослідженням було отримано важливі дані про масштаби радіоактивного забруднення ґрунтів, просторовий розподіл радіонуклідів, особливості їх міграції та поведінки в різних ґрунтово-кліматичних умовах. Надалі ці матеріали стали основою для розроблення системи моніторингу, агрохімічних заходів, рекомендацій щодо ведення сільського господарства та програм реабілітації постраждалих територій.

За результатами ранніх післяаварійних обстежень встановлено, що в Україні радіоактивного забруднення зазнали сільськогосподарські угіддя площею близько

4,5 млн га. Найбільша частка забруднених земель була зосереджена в областях Українського Полісся — Чернігівській, Київській, Житомирській, Рівненській та Волинській, а також у Черкаській області лісостепової зони.

У 1986 році лише у п'яти областях Полісся 864,5 тис. га сільськогосподарських угідь характеризувалися щільністю забруднення ґрунтів цезієм-137 у межах 1–5 Кі/км², а ще 89,2 тис. га — у межах 5–15 Кі/км². Загальна площа угідь, які за рівнем забруднення могли бути віднесені до III–IV зон радіоактивного забруднення, становила 953,7 тис. га. Найбільші площі радіоактивно забруднених орних земель були зосереджені у Рівненській та Житомирській областях.

У подальші десятиліття під впливом природних реабілітаційних процесів, фізичного розпаду радіонуклідів, їх фіксації ґрунтовим поглинальним комплексом, а також завдяки агрохімічним, агротехнічним і меліоративним контрзаходам радіологічний стан сільськогосподарських угідь поступово поліпшувався. Водночас через строкатий характер випадінь, різноманітність ґрунтово-кліматичних умов та тривалий період напіврозпаду цезію-137 і стронцію-90 необхідність системного моніторингу не втратила актуальності.

За результатами XI туру агрохімічного обстеження 2016–2020 років в Україні було обстежено 8137,3 тис. га сільськогосподарських угідь щодо щільності забруднення цезієм-137. Із них 8122,6 тис. га, або 99,8%, мали щільність забруднення нижче 185 кБк/м², тобто менше 5 Кі/км². Площа земель із забрудненням у межах 185–555 кБк/м², або 5–15 Кі/км², становила 14,8 тис. га, або 0,2% обстеженої площі. Земель із щільністю забруднення цезієм-137 понад 555 кБк/м², тобто понад 15 Кі/км², не виявлено.

У розрізі природно-сільськогосподарських зон у XI турі найбільші площі угідь із забрудненням цезієм-137 понад 185 кБк/м² були зафіксовані у зоні Лісостепу — 14,4 тис. га. Зокрема, у Київській області виявлено 7,2 тис. га таких земель, у Чернівецькій області — також 7,2 тис. га. У зоні Полісся залишалися забрудненими лише 0,4 тис. га сільськогосподарських угідь, зосереджених у Житомирській області. У зоні Степу земель із перевищенням цього рівня забруднення цезієм-137 не виявлено.

Порівняння результатів X та XI турів агрохімічного обстеження свідчить, що площа сільськогосподарських угідь із забрудненням цезієм-137 понад 185 кБк/м² по Україні збільшилася з 5,0 тис. га у X турі до 14,8 тис. га у XI турі. Це зростання не свідчить про погіршення радіологічної ситуації, а пояснюється зміною обсягів і просторового розташування обстежених площ, зокрема збільшенням частки обстежених земель у зоні Лісостепу.

Щодо стронцію-90, у XI турі було обстежено 6197,3 тис. га сільськогосподарських угідь. Із них 6173,6 тис. га, або 99,6%, мали щільність

забруднення нижче 5,55 кБк/м², тобто менше 0,15 Кі/км². Площа угідь із забрудненням у межах 5,55–111 кБк/м², або 0,15–3,0 Кі/км², становила 23,7 тис. га, або 0,4% обстеженої площі.

Найбільші площі угідь, забруднених стронцієм-90, у XI турі було виявлено в зоні Лісостепу — 14,2 тис. га, зокрема у Київській області — 10,6 тис. га, у Черкаській області — 3,6 тис. га. У зоні Полісся залишалися забрудненими 9,5 тис. га: у Рівненській області — 6,6 тис. га, у Житомирській — 2,1 тис. га, в Івано-Франківській — 0,8 тис. га. У зоні Степу забруднення сільськогосподарських угідь стронцієм-90 понад 5,55 кБк/м² не виявлено.

Порівняльний аналіз між X та XI турами агрохімічного обстеження засвідчив зменшення площ, забруднених стронцієм-90, більш ніж удвічі: з 51,2 тис. га у X турі до 23,7 тис. га у XI турі. У зоні Полісся площа таких угідь скоротилася з 38,3 тис. га до 9,5 тис. га. Водночас у Лісостепу спостерігалось незначне збільшення — з 12,9 тис. га до 14,2 тис. га, що пов'язано зі зміною структури обстежених площ.

Загалом результати багаторічного моніторингу свідчать про істотне поліпшення радіологічного стану сільськогосподарських угідь порівняно з раннім післяварійним періодом. За 34 роки після катастрофи вміст цезію-137 і стронцію-90 у ґрунтах знизився більш ніж удвічі. Горизонтальна й вертикальна міграція цих радіонуклідів не спричинила значного їх перерозподілу у природних і штучних ландшафтах, хоча на торфових і легких за гранулометричним складом ґрунтах Полісся зберігається підвищена мобільність радіонуклідів.

Попри загальне поліпшення радіаційної ситуації, окремі території залишаються критичними щодо можливого надходження радіонуклідів у харчовий ланцюг. Особлива небезпека зберігається на пасовищах і сіножатях забруднених зон, розташованих на лучно-болотних і торфово-болотних перезволожених ґрунтах, для яких характерні високі коефіцієнти переходу цезію-137 у рослини. Забруднені корми можуть зумовлювати підвищений вміст радіонуклідів у молоці, особливо в особистих селянських господарствах.

Отже, результати XI туру агрохімічного обстеження підтверджують загальне зниження рівнів радіоактивного забруднення сільськогосподарських угідь, але водночас засвідчують необхідність подальшого цілеспрямованого радіоекологічного контролю. Особливо важливим є повторне детальне уточнення щільності забруднення ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення для визначення меж критичних площ, використання яких може реально загрожувати виробництвом продукції з перевищенням допустимих нормативів.

УДК 57.04/574:630*1

РОЛЬ ШТУЧНИХ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ У МІГРАЦІЇ РАДІОАКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЕКОСИСТЕМІ

Т. В. Ананьєва, к.б.н., доцент, Н. В. Ворошилова, к.б.н., доцент,

Л. В. Доценко, к.б.н., доцент

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

E-mail: ananieva.t.v@dsau.dp.ua; voroshylova.n.v@dsau.dp.ua;

dotsenko.l.v@dsau.dp.ua

Відомо, що сталий рослинний покрив, затримуючи твердий стік та екрануючи частину поверхні ґрунту, має суттєву буферну роль в міграції радіонуклідів. Розширення в умовах степової України лісових захисних і лісомеліоративних насаджень сприяє поліпшенню родючості ґрунту та збільшенню ефективності використання природних ресурсів території. У Дніпропетровській області сформована система штучних полезахисних лісосмуг, які виконують ґрунтозахисні та фітомеліоративні функції. Об'єктом нашого дослідження стали процеси накопичення і міграції основних дозотвірних радіонуклідів та формування ефективної питомої радіоактивності і потужності поглиненої дози у штучних лісових насадженнях.

Проби природного матеріалу відбиралися на території сільськогосподарських угідь біля с. Майорка Дніпровського району. Пробні ділянки вибирали за угрупованнями робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia* L.) з перевагою 60-, 15- і 5-річних деревостанів у віковій структурі. Потужність лісової підстилки становила 4,0; 2,5 і 1,0 см відповідно. Зразки ґрунту відбирали на глибині 20—25 см згідно з ДСТУ 4287:2004.

Первинна підготовка природного матеріалу полягала у подрібненні за допомогою лабораторного млинка і висушуванні в сухожаровій шафі до постійної ваги за температури 105 °С. Питому активність радіоактивних ізотопів ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs і ^{90}Sr визначали у зразках вагою 10—20 г на сцинтиляційному спектрометрі гама-випромінювання СЕГ-001 «АКП-С» та спектрометрі бета-випромінювання СЕБ-01-150 (Україна) у Бк/кг сухої ваги.

Інтенсивність радіаційного фону в зоні дослідження вимірювали за допомогою цифрового дозиметра-радіометра РКС-01 «Стора» (Україна), значення коливалися від 0,085 до 0,275 мкЗв/год.

У результаті проведених досліджень встановлено, що найвищі концентрації природних радіонуклідів ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K і значення інтегральних показників ефективної питомої радіоактивності і потужності поглиненої дози були у лісовій підстилці, найменші — у листі дерев; значення обох інтегральних показників у ґрунті та лісовій підстилці були в межах допустимого радіаційного фону і не становили ризику для біологічних об'єктів. У міру збільшення віку деревостанів

показники вмісту природних радіонуклідів ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K і питомої радіоактивності знижувалися у поверхневому шарі ґрунту. Значення показників ефективної питомої радіоактивності і потужності поглиненої дози у лісовій підстилці зменшувалися впродовж осінньо-зимового періоду, що свідчить про сезонне зниження радіаційного фону завдяки міграції дозотвірних радіонуклідів у глибші шари ґрунту. Зміни концентрацій штучних радіоізотопів ^{137}Cs і ^{90}Sr у ґрунті й лісовій підстилці не виявляли закономірного зв'язку з віковою структурою угруповань дендрофлори, а визначалися, ймовірно, іншими чинниками, такими як швидкість їх виносу з біологічного кругообігу, віддаленість від джерела радіоактивності тощо. У осінньо-зимовий період концентрації радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у ґрунтовому шарі екосистеми штучної лісосмуги збільшувалися у 1,5—2 рази, хоча і не переважали допустимих норм. Спостерігалася закономірність щодо сезонного збільшення рівнів умісту штучних радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr та інтенсивності їх накопичення у листі переважно молодих деревостанів робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia* L.).

Отже, отримані дані підтверджують значну роль штучних лісових насаджень у міграції радіоактивних елементів в екосистемі.

УДК 631.42

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗЛАКОВИХ БАГАТОРІЧНИХ ТРАВ У ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ АГРОЛАНДШАФТІВ

В. В. Бугайов, к.с.-г.н., В. І. Пасічняк, Л. П. Наконечний, С. О. Склонний
Південно-західний міжрегіональний центр ДУ «Держґрунтохорона»
E-mail: vinroduchist@ukr.net

Забруднення ґрунту радіонуклідами є всесвітньою проблемою, яка розвивалася разом із розвитком ядерних технологій упродовж останніх десятиліть та особливо через низку катастроф, що сталися на атомних електростанціях в різних частинах світу. Одна з найбільших аварій — на Чорнобильській АЕС, внаслідок якої постраждали значні площі земель, в тому числі близько 90 тис. га агроландшафтів Вінницької області, що становило близько 5 % від усіх площ.

Забруднені радіонуклідами ґрунти, зокрема ^{137}Cs та ^{90}Sr , становлять довгострокову радіаційну небезпеку для здоров'я людини внаслідок опромінення через харчовий ланцюг «ґрунт — рослина — тварина». Найдієвішими заходами, що сприяють зменшенню надходження радіонуклідів у продукцію рослинництва і продукти харчування відповідно, є: глибока оранка на глибину 35—40 см; вапнування кислих ґрунтів; застосування органічних та мінеральних добрив з оптимальним співвідношенням N:P:K; додавання сорбційно-активних речовин або композитних сорбентів; використання видів сільськогосподарських культур з

низькими значеннями параметрів виносу радіонуклідів.

У Вінницькій області впродовж 2016—2020 рр. здійснено уточнення радіаційної ситуації земель сільськогосподарського призначення на площі 536,4 тис. га і за результатами проведених досліджень встановлено, що сільськогосподарські угіддя із щільністю забруднення ^{137}Cs понад 5 Ki/km^2 в області відсутні, а забруднення агроландшафтів ^{90}Sr не перевищує 0,15 Ki/km^2 .

Проте наукові дані свідчать, що отримання екологічно безпечної сільськогосподарської продукції можливе за щільності забруднення ґрунтів ^{137}Cs не більше 1 Ki/km^2 , а ^{90}Sr — 0,02 Ki/km^2 [1]. Виробництво екологічно безпечної сільськогосподарської продукції в Україні є стратегічно важливим напрямом аграрного сектору, що забезпечує збереження природних ресурсів, має вплив на підвищення якості життя населення та зміцнення конкурентоспроможності держави на міжнародних ринках.

Фіторе mediaція є одним з ефективних та економічно доцільних напрямів відновлення ґрунтів, що базується на здатності рослин поглинати, акумулювати або стабілізувати радіонукліди. Останні наукові дослідження свідчать, що вирощування таких культур як гірчиця, люцерна, коноплі, люпин вузьколистий, фацелія пижмолиста, соняшник тощо, здатне зменшувати вміст ^{137}Cs , ^{90}Sr на 5—20 % [2—5]. Окремо слід зазначити роль багаторічних злакових трав, які характеризуються стабільним поглинанням ^{137}Cs та ^{90}Sr та високою адаптивністю до умов техногенно забруднених територій, зокрема пажитниці багаторічної, костриці очеретяної тощо [6]. Їх ефективність полягає насамперед у фітостабілізації, зниженні біодоступності радіонуклідів та обмеженні їх вторинного переносу внаслідок ерозійних процесів. Завдяки розвиненій кореневій системі та здатності формувати стійкий рослинний покрив, ці види забезпечують довготривалу екологічну стабілізацію ґрунтів.

Отже, використання рослин у фіторе mediaції доцільно розглядати як складову комплексної системи відновлення радіоактивно забруднених територій. Також багаторічні злакові трави є ефективним інструментом для масштабної та довготривалої ре mediaції в умовах України.

Література

1. Тараріко, О. Г., Сорока, В. І., Бенцаровський, Д. М., Козлов, М. В., & Палапа, Н. В. (2002). Сучасні деградаційні процеси та еколого-агрохімічний стан сільськогосподарських земель України / Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. К. : Фітосоціоцентр.
2. Разанов, С. Ф., & Куценко, М. І. (2025). Фіторе mediaція дерново-підзолистого ґрунту за вирощування нектаропилконосних рослин в умовах Полісся. *Український журнал природничих наук*. (11), С. 213—222.
3. Куценко, М. І. (2024). Інтенсивність накопичення радіонуклідів вегетативною масою фацелії пижмолистої. *Таврійський науковий вісник. Серія:*

Сільськогосподарські науки. 2024. Ч. 1. № 139. С. 273—279. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.1.35>.

4. Дребот, О. І., Барановська, Н. А., & Швиденко, І. К. (2024). Перспективні шляхи розвитку аграрного виробництва на радіоактивно забруднених територіях Українського Полісся. *Агроекологічний журнал*. (4), С. 6—12.

5. Dushenkov, S., Vasudev, D., Kapulnik, Y., Gleba, D., Fleisher, D., Ting, K. C., & Ensley, B. (1997). Removal of uranium from water using terrestrial plants. *Environmental Science & Technology*. 31(12), 3468—3474.

6. Penrose, B., Beresford, N. A., Crout, N. M., Lovatt, J. A., Thomson, R., & Broadley, M. R. (2017). Forage grasses with lower uptake of caesium and strontium could provide ‘safer’ crops for radiologically contaminated areas. *PLoS One*, 12(5), e0176040.

УДК 631.427.2:631.445.24:631.81

РАДІОЛОГІЧНА ОЦІНКА СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ ЗА ЙОГО МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ

О. І. Врадій¹, к.с.-г.н., доцент, В. Р. Кривевич², аспірант

¹Вінницький національний аграрний університет

²Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького

E-mail: oksanavradii@gmail.com; <https://krilevychvr.lnup.edu.ua>

Сучасне сільське господарство України неможливе без застосування мінеральних добрив, що є основним фактором підвищення урожайності провідних культур, зокрема кукурудзи [1]. Проте поряд із позитивними ефектами інтенсифікації землеробства актуалізується проблема екологічної безпеки агроєкосистем, зумовлена можливим накопиченням у ґрунті та рослинній продукції природних та техногенних радіонуклідів (^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) [2]. Однією з найважливіших тем у цій галузі є конкуренція між радіоактивним цезієм-137 та калієм-40, який є природним радіонуклідом, що накопичується в добривах. Внесення калійних добрив значно знижує поглинання рослиною цезію-137, оскільки калій є його хімічним аналогом [3].

Мета дослідження — проаналізувати інтенсивність накопичення ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra та ^{232}Th у сірому лісовому ґрунті залежно від внесення мінеральних добрив за вирощування кукурудзи, базуючись на розрахунках для діапазону урожайності від 3,2 до 8,0 т/га. Дослідження проводили на дослідних ділянках сірого лісового ґрунту, розташованих у зоні Лісостепу Правобережного України. Як предмет дослідження використовували посіви кукурудзи сорту Фіона.

Результати дослідження показують, що мінеральні добрива, особливо калійні, є джерелом радіонуклідів, які потрапляють у ґрунт під час вирощування кукурудзи. Найбільшу питому активність чотирьох радіоізотопів — цезію-137

(^{137}Cs), калію-40 (^{40}K), радію-226 (^{226}Ra) і торію-232 (^{232}Th) — виявлено у хлористому калію. Збільшення норми внесення добрив значно підвищує загальну кількість радіонуклідів, що потрапляють у ґрунт. Наприклад, за запланованої врожайності кукурудзи 3,2 т/га (норма $\text{N}_{70}\text{P}_{80}\text{K}_{70}$) до ґрунту надходить 3,9 млн Бк/га, тоді як за урожайності 8,0 т/га (норма $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$) ця кількість зростає до 5,2 млн Бк/га. Хлористий калій є найбільшим джерелом радіонуклідів, що надходять у ґрунт — близько 63 % до загального забруднення. Найбільшу частку серед усіх ізотопів має природний ізотоп калій-40, який становить 60,3 % за $\text{N}_{70}\text{P}_{80}\text{K}_{70}$ і 63,4 % за $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$. Послідовність надходження радіонуклідів у ґрунт за зростанням питомої активності є такою: $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{40}\text{K}$. Тобто мінеральні добрива є одним із потужних джерел розсіювання в земній корі радіоактивних речовин, зокрема ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , що потребує перегляду стратегій їх використання. Обмеження обсягів використання мінеральних добрив шляхом заміни на органіку, зелені добрива, а також підвищення ефективності азотфіксації та інші агрозаходи сприяють зниженню радіоактивного забруднення ґрунтів сільськогосподарського призначення.

Література

1. Разанов, С. Ф., & Куценко, М. І. (2024). Оцінка рівня накопичення радіонуклідів сільськогосподарськими бобовими нектаропилконосними рослинами в умовах північного Полісся. *Сільське господарство та лісівництво*. № 3 (34). 198—207. DOI: 10.37128/2707-5826-2024-3-17

2. Куценко, М. І. (2024). Інтенсивність накопичення радіонуклідів вегетативною масою фацелії пижмолистої. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. Ч. 1 № 139. 273—279. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.1.35>

3. Razanov, S., Koruniak, O., Dydiv, A., Holubieva, T., Symochko, L., Balkovskyi, V., ... Mazur, O. Radioprotective and sorption properties of beespine. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2023. Vol. 13 (2). 71—76. DOI: <https://doi.org/10.31407/ijeess13.2>

УДК 631.95:631.86

МІСЦЕВІ СИРОВИННІ РЕСУРСИ — ВИСОКОЕФЕКТИВНІ РАДІОПРОТЕКТОРИ

В. А. Гаврилюк¹, к.с.-г.н., Ю. Л. Цапко², д.б.н.

¹Поліська дослідна станція Національного наукового центру
«Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» НААН

²Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О. Н. Соколовського» НААН

E-mail: gavrilyuk-v@ukr.net; tsapkoul@i.ua

Після найстрашнішої техногенної аварії в історії людства — катастрофи на

Чорнобильській атомній станції — минуло 40 років, однак проблеми, породжені нею, продовжують свою шкідливу дію, залишаючись багато в чому нерозв'язаними. Внаслідок аварії у Волинській області забруднено радіонуклідами 504,8 тис. га, в тому числі 165,8 тис. га сільськогосподарських угідь, з яких 75 тис. га мали щільність забруднення вище 1 Кі/км².

З 1991 року Поліська дослідна станція ННЦ «ІА ім. О. Н. Соколовського» НААН активно долучилася до робіт з обстеження території Волинської області та вивчення ефективності застосування запобіжних заходів щодо зниження переходу радіонуклідів із ґрунту в рослини з використанням місцевих сировинних ресурсів.

Нами виконувалися дослідження з розроблення технологій і оцінки ефективності застосування різних норм сапропелів та органо-мінеральних добрив, а також встановлення впливу місцевих мінералів-сорбентів, мінеральних добрив і біологічних препаратів на рівень радіоактивного забруднення продукції та урожай сільськогосподарських культур, які показали, що сапропелі володіють радіопротекторними властивостями, знижуючи коефіцієнти переходу радіонуклідів в рослини в 1,05—1,43 рази.

Найбільшого зниження досягнуто при застосуванні органічного типу сапропелю (1,31—1,34 рази). Не менш ефективним є використання сапропелю як основи для виробництва комплексних органо-мінеральних добрив. В умовах радіоактивного забруднення їх внесення забезпечує зниження коефіцієнтів переходу радіоцезію в 1,15—1,95 рази.

Застосування меліорантів у вигляді зернистих фосфоритів на торфових ґрунтах зменшувало перехід ¹³⁷Cs в зелену масу редьки олійної у 5,4 рази, на дерново-підзолистих ґрунтах у 2,9—5,3 рази. Високі радіопротекторні властивості мають глауконітові піски та трепел. Під час вивчення впливу норм калійних добрив на врожай бульб картоплі та накопичення в них радіоцезію встановлено, що на дерново-підзолистих ґрунтах із щільністю забруднення 1,4—1,9 Кі/км² доцільно вносити мінеральні туки по фоні органічних добрив, що забезпечує одержання радіаційно чистої продукції.

Важливим напрямом зниження техногенного навантаження на ґрунт є застосування біологічних засобів. Оброблення насіння і вегетуючих рослин Агатом-25К дає можливість уникнути застосування хімічних препаратів, зменшити норми внесення азотних та фосфорних добрив. Перехід радіоцезію в основні види продукції рослинництва за такої умови зменшується в 1,12—2,18 рази.

На сучасному етапі, у віддалений період, ландшафти зазнають значного антропогенного навантаження, що визначає їх екологічний стан в умовах сьогодення. А втім, стан ландшафтів визначається не лише сучасним впливом, але

й історичною складовою антропогенного навантаження, а також наслідками протікання різних трансформацій.

Через 40 років після аварії на ЧАЕС унаслідок природного розпаду радіонуклідів відбулося самоочищення забруднених територій. Однак екологічні особливості умов життєдіяльності населення, його органічний зв'язок з навколишніми лісовими масивами, торфовищами, болотами, озерними екосистемами, обумовлює формування напруженої радіоекологічної ситуації на території Полісся. Тому перспективність використання місцевих ресурсів в якості добрив та радіопротекторів є одним із сучасних і найефективніших контрзаходів, що забезпечують зниження коефіцієнтів переходу радіонуклідів з ґрунту у вирощену продукцію та сприяють поліпшенню умов життя для населення.

УДК 504.5:546.48

НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ КАДМІЮ НА АГРОЕКОСИСТЕМИ ТА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

А. С. Готвянська, к.с.-г.н., доцент

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

E-mail: hotvjanska.a.s@dsau.dp.ua

Кадмій (Cd) належить до найтоксичніших важких металів, що характеризуються тривалою стійкістю в довкіллі, здатністю накопичуватися у ґрунтах та залучатися до біологічних і трофічних ланцюгів. Для аграрних територій проблема кадмієвого забруднення особливо актуальна, оскільки ґрунт є центральною ланкою агроєкосистеми й водночас основним депо полютантів, з якого Cd може переходити в рослинну масу й далі — в харчовий ланцюг. Джерелами надходження кадмію можуть бути промислові та транспортні викиди, продукти згоряння пального, пилові переноси, а також використання окремих видів мінеральних добрив і меліорантів. Унаслідок цього формуються локальні зони підвищених концентрацій, які потребують виявлення та систематичного контролю.

Поведінка кадмію в ґрунті визначається його формами існування та біодоступністю. Рухомість Cd і його здатність переходити в доступні для рослин форми залежать від реакції ґрунтового середовища, вмісту органічної речовини, ємності катіонного обміну, гранулометричного складу та водного режиму. За зміни кислотності, зволоження або інтенсивності мінералізаційних процесів кадмій може активніше мігрувати в ґрунтовому розчині й підвищувати ризик поглинання рослинами. Важливо наголосити, що високий загальний вміст Cd у ґрунті не завжди прямо відповідає високому вмісту в рослинній масі, тому для

коректної оцінки небезпеки доцільно враховувати не лише валовий вміст, а й потенційно біодоступну частку.

Негативний вплив кадмію на агроєкосистеми проявляється через порушення фізіолого-біохімічних процесів у рослинах: зниження інтенсивності фотосинтезу, пригнічення росту, порушення водного й мінерального живлення, індукцію оксидативного стресу та зміну активності ферментних систем. Це може призводити до зменшення врожайності та погіршення якості рослинної продукції, а також до підвищення екологічних ризиків, пов'язаних із накопиченням Cd у біомасі й подальшим потраплянням у компоненти агроландшафту. Для здоров'я людини кадмій небезпечний кумулятивною дією: основний шлях надходження — через їжу та воду, а у зонах підвищеного забруднення можливий також інгаляційний вплив. Тривале надходження навіть відносно малих доз може формувати хронічні ризики, що обґрунтовує необхідність профілактики забруднення та контролю безпечності продукції, отриманої в умовах потенційного техногенного навантаження.

Ефективне управління ризиками кадмієвого забруднення передбачає комплексний моніторинг, який включає регулярний відбір проб ґрунту та рослинної маси, просторове картування ділянок із підвищеним умістом Cd, урахування сезонності, агротехнологічних прийомів і ґрунтових чинників, що визначають рухомість полютанта. Для інтерпретації міграції кадмію доцільно застосовувати індикатори переходу в системі «ґрунт — рослина» (зокрема, коефіцієнт переходу TF), що дозволяє оцінити інтенсивність поглинання Cd у конкретних ґрунтових умовах та своєчасно обґрунтувати запобіжні заходи. Загалом кадмій є небезпечним полютантом тривалої дії, а зниження його негативного впливу можливе за умови поєднання моніторингу, оцінки біодоступності в ґрунтах і практичних заходів на рівні господарств та громад.

УДК 631.42

**СТАН РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОНИ
ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ**

М. В. Гунчак, к.с.-г.н.

Чернівецький регіональний центр ДУ «Держґрунтохорона»

E-mail: chernivtsy_grunt@ukr.net

З появою в житті людини нового фактора забруднення довкілля радіоактивними нуклідами виникла і необхідність створення системи радіаційного контролю та моніторингу навколишнього природного середовища. Актуальність цієї проблеми зростає як в Україні загалом, так і зокрема в

Чернівецькій області після забруднення значних територій внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 році

Забруднення сільськогосподарських угідь радіоактивними речовинами може бути фактором, що ускладнює ведення сільськогосподарського виробництва, особливо через велику різноманітність природно-кліматичних умов області та різноманітність ґрунтового покриву.

На сучасному етапі найбільш важливим є контроль за вмістом радіонуклідів стронцію-90 та цезію-137, які мають не тільки великий період напіврозпаду (близько 30 років), але й велику здатність активно залучатися у біологічні ланцюги кругообігу речовин.

З 2016 до 2020 року (XI тур обстежень) Чернівецьким регіональним центром ДУ «Держґрунтохорона» проведено уточнення радіаційної ситуації на площі 117,7 тис. га земель сільськогосподарського призначення лісостепової зони Буковини у Кіцманському, Заставнівському, Хотинському, Новоселицькому, Сокирянському та Кельменецькому районах. З цією метою відібрано 966 ґрунтових проб, в яких визначили активність цезію-137 методом гамма-спектрометрії на спектрометрі СЕГ-05. У 167 пробах (1-2 проби в межах землекористування кожного населеного пункту) визначили активність стронцію-90 радіохімічним методом по активності ітрію-90 на УМФ-1500М з ПП-16. Одночасно з відбором проб проводили заміри потужності експозиційної дози (ПЕД) гамма-випромінювання з використанням радіометра СРП-68-01.

У Сокирянському районі обстежено 21,7 тис. га земель сільськогосподарського призначення. Досліджено 109 проб ґрунту на вміст цезію-137 та 19 проб на вміст стронцію-90. ПЕД становила 11—17 мкР/год. Середня щільність забруднення цезієм-137 — 2,59 кБк/м² (0,07 Кі/км²). Активність радіоцезію коливалася від 9,9 до 96,8 Бк/кг ґрунту, стронцію-90 — від 1,89 до 3,65 Бк/кг.

У Хотинському районі обстежено 14,3 тис. га сільськогосподарських угідь. Відібрано та досліджено 144 проби ґрунту на вміст цезію-137 та 28 проб на вміст стронцію-90. Потужність гамма-випромінювання в районі становить 12—16 мкР/год. Питома активність цезію-137 коливалася від 5,72 до 91,0 Бк/кг ґрунту. Середня щільність забруднення становить 3,3 кБк/м² (0,09 Кі/км²). Питома активність стронцію-90 становила від 2,9 до 4,5 Бк/кг ґрунту. Середня щільність забруднення стронцієм-90 становить 0,9 кБк/м² (0,024 Кі/км²).

У Новоселицькому районі обстежено 27,7 тис. га сільськогосподарських угідь. Відповідно досліджено на вміст цезію-137 159 ґрунтових проб, а також 35 проб досліджено на вміст стронцію-90. Потужність гамма-випромінювання в районі становить 7—12 мкР/год. Питома активність цезію коливалася від 3,99 до 25,7 Бк/кг. Середня щільність забруднення радіоцезієм 2,3 кБк/м² (0,06 Кі/км²).

Питома активність стронцію 2,63—3,94 Бк/кг. Щільність забруднення стронцієм 0,8 кБк/м² (0,021 Кі/км²).

У Заставнівському районі обстежено 22,1 тис. га сільськогосподарських угідь. Відібрано та досліджено на вміст цезію-137 204 проби ґрунту та 37 проб досліджено на вміст стронцію-90. Потужність гамма-фону в районі становить 9—25 мкР/год. Питома активність цезію-137 коливається від 6,4 до 346 Бк/кг. Середня щільність забруднення 24,0 кБк/м² (0,65 Кі/км²). Питома активність стронцію-90 2,19—5,85 Бк/кг, середня щільність забруднення стронцієм-90 1,4 кБк/м² (0,038 Кі/км²). Площа земель із щільністю забруднення цезієм-137 вище 37 кБк/м² становить 2,18 тис. га, або 8,0 % від обстеженої площі району.

У Кіцманському районі обстежено 11,9 тис. га сільськогосподарських угідь. Відповідно досліджено на вміст цезію-137 123 ґрунтових проби, також 28 проб досліджено на вміст стронцію-90. Потужність гамма-випромінювання в районі становить 12—25 мкР/год. Питома активність цезію коливається від 3,99 до 285 Бк/кг. Середня щільність забруднення радіоцезієм 31,8 кБк/м² (0,86 Кі/км²). Питома активність стронцію 2,50—5,34 Бк/кг. Щільність забруднення стронцієм-90 0,89 кБк/м² (0,024 Кі/км²). Площа земель району із щільністю забруднення більше 37 кБк/м² 5,06 тис. га, що становить 24,4 % обстеженої площі.

У Кельменецькому районі обстежено 20,0 тис. га сільськогосподарських угідь. Відібрано та досліджено на вміст цезію-137 227 проб ґрунту, а стронцію-90 — 20 проб. Потужність гамма-фону в районі становить 10—14 мкР/год. Питома активність цезію-137 коливається від 5,7 до 36,1 Бк/кг. Середня щільність забруднення 4,4 кБк/м² (0,12 Кі/км²). Питома активність стронцію-90 коливається 1,98—3,69 Бк/кг, середня щільність забруднення стронцієм-90 0,8 кБк/м² (0,021 Кі/км²).

Загальна площа забруднення земель радіонуклідами цезію-137 по лісостеповій зоні області із щільністю більше 37 кБк/м² (1 Кі/км²) становить 7,24 тис. га, або 6,1 % обстеженої площі. Ґрунтовий покрив забруднених земель Кіцманського та Заставнівського районів представлений переважно лучно-чорноземними, опідзоленими чорноземами та темно-сірими ґрунтами.

Порівнюючи із попереднім туром обстеження, рівень забруднення земель сільськогосподарського призначення лісостепової зони Чернівецької області знизився з 8,4 % до 6,1 %.

Отже, з часом унаслідок природного розпаду радіонуклідів радіаційна ситуація в області поліпшується. Водночас зберігає актуальність системний радіоекологічний моніторинг ґрунтів Буковини з метою забезпечення радіоекологічної безпеки та сталого ведення аграрного виробництва.

УДК 631.416:504.054:631.95(477.81)

МОНІТОРИНГ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ РАДІОНУКЛІДОМ ^{137}Cs НА ТЕРИТОРІЇ САРНЕНСЬКОГО РАЙОНУ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

В. І. Гущук

Національний університет водного господарства та природокористування

E-mail: v.i.guschuk@nuwm.edu.ua

Аварія на Чорнобильській атомній електростанції у 1986 році спричинила масштабне радіоактивне забруднення великих територій Українського Полісся. Найбільшого впливу зазнали північні райони Рівненської області, де сформувалися значні площі ґрунтів, забруднених довгоживучими радіонуклідами, передусім ^{137}Cs . Особливістю цього радіонукліду є його тривалий період напіврозпаду та здатність активно залучатися у ґрунтово-рослинні системи, що зумовлює його екологічну небезпеку навіть через десятиліття після аварії.

Складність радіоекологічної ситуації у регіоні посилюється специфічними властивостями поліських ґрунтів, зокрема, підвищеною кислотністю, низьким вмістом гумусу та легким гранулометричним складом. Такі умови сприяють підвищеній мобільності радіонуклідів і їх переходу в рослинну продукцію, що створює додаткові ризики для агровиробництва та населення.

Метою дослідження була оцінка сучасного радіоекологічного стану ґрунтів Сарненського району Рівненської області та аналізування динаміки забруднення радіонуклідом ^{137}Cs шляхом порівняння результатів агрохімічної паспортизації (2011—2015 рр.) із даними польових і лабораторних досліджень 2025 року.

Дослідження проводили на території населених пунктів Бережниця, Висоцьк і Милячі. Відбір зразків ґрунту здійснювали на різних типах угідь — луках, лісових масивах та орних землях — на глибинах 0—20, 20—40 та 40—60 см. Визначення вмісту ^{137}Cs проводили методом гамма-спектрометрії відповідно до чинних нормативних документів.

Результати досліджень показали чітку закономірність вертикального розподілу радіонукліду в ґрунтовому профілі. Найвищі значення активності ^{137}Cs зафіксовані у верхньому горизонті ґрунту (0—20 см), де вони у 3—10 разів перевищують показники нижчих шарів. У глибших горизонтах (20—40 та 40—60 см) спостерігається поступове зменшення концентрації радіонукліду, що свідчить про повільну вертикальну міграцію радіоцезію.

Встановлено, що характер розподілу радіонукліду значною мірою залежить від типу землекористування. Найвищі рівні забруднення виявлено у природних екосистемах — лісових та лучних угіддях, де радіоцезій акумулюється в органічному горизонті та лісовій підстилці. На орних землях спостерігали більш

рівномірний розподіл ^{137}Cs у межах орного шару, що пояснюється механічним перемішуванням ґрунту під час його обробітку.

Сучасні рівні забруднення ґрунтів досліджуваних територій знаходяться в межах 0,5—1,5 Кі/км², що відповідає зоні посиленого радіоекологічного контролю. Порівняльний аналіз із даними агрохімічної паспортизації початку 2010-х років свідчить про поступове зниження рівнів радіоактивного забруднення - в середньому на 20—40 %. Це пояснюється як природним радіоактивним розпадом ^{137}Cs , так і його перерозподілом у ґрунтовому профілі.

Однак, незважаючи на позитивну тенденцію до зниження рівнів забруднення, ґрунти досліджуваних територій залишаються потенційно небезпечними щодо переходу радіонуклідів у сільськогосподарську продукцію. Тому продовження здійснення комплексних агроекологічних заходів, зокрема, вапнування кислих ґрунтів, оптимізації систем удобрення та раціонального використання земельних ресурсів є актуальним.

Отримані результати підтверджують необхідність продовження системного радіоекологічного моніторингу ґрунтів Українського Полісся з метою забезпечення екологічної безпеки та сталого ведення сільськогосподарського виробництва.

УДК 633.8+630.3

МОЖЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН-РАДІОПРОТЕКТОРІВ НА ПРИКЛАДІ ЗОЛОТОТИСЯЧНИКА ЗВИЧАЙНОГО В УМОВАХ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

Н. Б. Демчишин, к.с.-г.н.

НПП «Бойківщина»

E-mail: nataliademchyshyn69@gmail.com

У сучасному техногенному світі особливе місце у безпеці навколишнього природного середовища посідає радіоактивне забруднення, що полягає у появі радіоактивних речовин у ґрунті, воді, повітрі у кількостях, що перевищують природний фон. Руйнування реактора на Чорнобильській АЕС стало причиною масштабного радіоактивного забруднення, внаслідок чого в атмосферу викинуто близько 50 млн куб. м радіоактивного пилу.

Радіоактивне забруднення діє на людину шляхом зовнішнього та внутрішнього опромінення. Зовнішнє опромінення — це опромінення внаслідок радіоактивного забруднення місцевості. Воно підлягає контролю і залежить від рівня радіації на місцевості.

Внутрішнє опромінення виникає за вживання продуктів харчування та води, які забруднені радіонуклідами. Для зменшення рівня вмісту радіонуклідів, які надходять з їжею, необхідно систематично приймати радіопротектори —

речовини, які зв'язують радіонукліди та підвищують стійкість організму до радіоактивного впливу. Відомо ряд лікарських рослин, здатних очистити організм, вивести радіонукліди. Однією із них є золототисячник звичайний.

Золототисячник звичайний (*Centaurium erythraea* Raf.) — одно- або дворічна трав'яниста рослина родини Тирличевих (*Gentianaceae*). Цей вид занесено до Європейської фармакопеї. Як офіційна лікарська рослина застосовують траву золототисячника — *Centaurii herba*, зібрану під час цвітіння (липень і серпень). Золототисячник звичайний у вигляді водного настою ефективно запобігає і усуває ранні зміни, що спостерігаються в організмі у разі довгого впливу низьких доз гама-випромінювання, а також гальмує радіаційний канцерогенез, тобто кінцеві стадії радіаційного ураження. Причому побічної дії препаратів на організм не виявлено. Одним з основних районів промислової заготівлі є Карпати. Науковці Ужгородського університету вивчають популяції золототисячника звичайного на території Закарпаття. Через суттєве зростання попиту на лікарську сировину вони також провели серію експериментів щодо можливості вирощування цієї рослини розсадним способом в польових умовах. Результати досліджень показали перспективність такого напрямку, причому показники морфометричних замірів і врожайності насіння виявилися вищими, ніж в природних умовах.

Золототисячник звичайний зростає також на лісових галявинах і гірських луках, які знаходяться на території НПП «Бойківщина» і прилеглих до нього лучних біотопах. Оскільки такі ґрунтово-кліматичні умови є сприятливими для його природного відтворення, то він спонтанно засівається на польових шкільках науково-дослідного лісорозсадника, де вирощується садивний матеріал лісових та декоративних культур. Це свідчить про можливість вирощування цієї лікарської рослини як супутньої культури із саджанцями дерев і кущів у польових умовах. Морфометричні характеристики таких рослин також перевищують аналогічні в умовах дикої природи. Важливо також, що умови Карпатського регіону дають можливість вирощувати екологічно безпечну лікарську продукцію завдяки відсутності радіоактивного забруднення. За даними дозиметричних вимірювань Львівської обласної проектно-пошукової станції хімізації сільського господарства, які проводилися після аварії на ЧАЕС на цих територіях, радіоактивний фон ґрунту тут завжди знаходився в межах норми.

Отже, вирощування рослин, які мають унікальні радіопротекторні властивості, може допомогти зменшити негативний вплив радіації на організм. А використання лікарських рослин на основі наукових доказів може стати важливим кроком у забезпеченні безпеки та здоров'я людей в умовах радіаційного впливу.

ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЯ: ЯК МИ БУДУЄМО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ЩИТ ПРОТИ НЕВИДИМОЇ ЗАГРОЗИ

К. Денисюк, А. Пушкар

Відокремлений структурний підрозділ

«Боярський фаховий коледж НУБіП України»

Аварія на Чорнобильській АЕС є однією із наймасштабніших техногенних катастроф в історії людства, наслідки якої відчуваються й сьогодні. Вона продемонструвала вразливість суспільства перед невидимими загрозами — радіацією, інформаційними ризиками та техногенними аваріями.

У сучасних умовах, коли Україна переживає нові виклики, зокрема пов'язані з безпекою ядерних об'єктів, питання формування «інтелектуального щита» набуває особливої ваги. Йдеться не лише про технічний захист, а й про розвиток наукових досліджень, систем моніторингу, штучного інтелекту, екологічної свідомості та інформаційної обізнаності населення [1].

Також в умовах глобалізації та розвитку ядерної енергетики у світі досвід України після Чорнобиля стає важливим прикладом для інших держав. Побудова інтелектуального щита — це не лише національне завдання, а й внесок у міжнародну безпеку.

Чорнобиль став для нашої країни не просто точкою на карті чи датою в календарі, а найжорсткішим джерелом знань з радіаційної безпеки. Але сьогодні, ми перейшли в еру інтелектуальної безпеки, де головною зброєю став не свинець і бетон, а високі технології та глибоке розуміння механізмів забруднення довкілля, що сприяють кращому моделюванню та прогнозуванню довгострокових наслідків забруднення в цілому [2].

Нині розробляються гнучкі полімерні композити, де замість монолітного металу використовуються наночастинки вольфраму, вісмуту або оксиду заліза. Такі матеріали значно легші, але завдяки продуманій структурі вони розсіюють гамма-кванти не гірше за свинець. Науковці вважають, що це є та сама «розумна» броня, яка дозволяє людині зберігати мобільність там, де кожна секунда зволікання коштує здоров'я [3].

Окремої уваги заслуговують зміни у нашому підході до екологічного моніторингу. Всі розуміють, що радіація — це проблема річкових басейнів, ґрунтових вод і ланцюжків харчування. Чорнобильська катастрофа навчила нас, що радіонукліди, такі як цезій-137 чи стронцій-90, мають звичку «мігрувати». Тому сьогоднішній щит — це й методи дистанційних технологій, які включають комп'ютерне оброблення космічних знімків, отриманих протягом тривалого часового періоду із супутників (розподіл закартованих за даними космічних

знімків площ відкритої водної поверхні та суходолу, дані з нормалізованого різницевого водного індексу (NDWI), опрацювання масивів кліматичних даних доступ до яких надається платформою ERA5 тощо [4].

Чи означає все це, що у світі приборкали атом? Радіація не прощає недбалості. Навіть найсучасніші технології — це лише інструменти в руках людей. Радіаційна безпека передбачає проведення розрахунків значних масивів даних з метою перетворення невидимої смерті на контрольований технологічний параметр.

О. Тимощук [5] виокремив проблему поширення хибних уявлень про радіацію, що є особливо актуальним після Чорнобильської катастрофи, зазначаючи, що низький рівень обізнаності та вплив міфів призводять до неправильного сприйняття радіаційних ризиків. Науковець зазначає, що нині засоби штучного є ефективним інструментом для отримання теоретичних знань, базових практичних навичок, аналізування великих обсягів даних, виявлення потенційних проблем пов'язаних з радіацією, однак поки не здатні повністю замінити людський інтелект, оскільки можуть бути схильними до аксіоматичної упередженості, яка закладена в загальноприйнятих навчально-теоретичних даних

І хоча Чорнобиль назавжди залишиться нашою болючою пам'яттю, саме він змусив нас стати розумнішими, винахідливішими та, зрештою, безпечнішими. Майбутнє атомної енергетики можливе лише за умови, що технології захисту будуть розвиватися швидше, ніж з'являтимуться нові виклики.

Література

1. Куцина, І.В., Гавриленко, В.С., & Сімейко, К.В. (2025). Результати діяльності Інституту проблем безпеки атомних електростанцій НАН України у 2024 р. *Ядерна енергетика та довкілля*, Вип. 1 (32). 68-79 DOI: <https://doi.org/10.31717/2311-8253.25.1.7>
2. Prister, B., Lev, T., Nosovskyi, A., & Talerko, M. (2022). Comprehensive radioecological monitoring for objects of radioactively contaminated areas. DOI: <https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.465.286>.
3. Пилипенко О. М. та ін. Сучасні композиційні матеріали для біологічного захисту від іонізуючого випромінювання. *Ядерна фізика та енергетика*. 2022. Т. 23, № 2. С. 115—124. URL: <https://jnpe.org.ua/uk/archives/2022/2> .
4. Азімов, О., Триснюк, В., Шевченко, О., Томченко, О., Андреев, А., & Кіреєв, С. (2025). Оцінка сучасної складової підтоплення на території Чорнобильської зони відчуження методами дистанційних технологій. *Екологічна безпека та природокористування*, 53(1), 95–110. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.1.95-110> .
5. Тимощук О. В. Використання штучного інтелекту для виявлення та корекції хибних уявлень про радіацію. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2025. Т. 105, № 1. С. 189—203. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v105i1.5905> .

УДК 631.438:539.16

ДИНАМІКА РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ НАРОДИЦЬКОЇ ГРОМАДИ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

*Б. Є. Дрозд, Л. М. Романчук, Л. О. Субин, Ю. С. Менчинський
Житомирський регіональний центр ДУ «Держґрунтохорона»*

Проблема радіоактивного забруднення ґрунтів північних районів Житомирської області залишається актуальною внаслідок тривалого збереження довгоживучих радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr , період напіврозпаду яких становить близько 30 років. Особливості їх міграції та біологічної доступності значною мірою визначаються фізико-хімічними властивостями ґрунту. На території дослідження переважають дерново-підзолисті супіщані ґрунти різного ступеня оглеєння, що характеризуються підвищеною кислотністю, низькою буферністю та підвищеною рухомістю радіонуклідів.

Метою дослідження є оцінка динаміки щільності забруднення ґрунтів сільськогосподарських угідь ^{137}Cs і ^{90}Sr у 2009—2024 рр., а також аналізування змін окремих агрохімічних показників (умісту рухомого калію, рН) на території Народицької територіальної громади Коростенського району Житомирської області.

За результатами чотирьох турів агрохімічного обстеження (2009, 2014, 2019, 2024 рр.) Житомирським регіональним центром ДУ «Держґрунтохорона» встановлено стійку тенденцію до зниження щільності забруднення ґрунтів: вміст ^{137}Cs зменшився на 64,7 %, а ^{90}Sr — на 73,3 % (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка радіологічних та агрохімічних показників ґрунтів

Рік обстеження / тур	Середньозважені показники			
	цезій-137, Кі/км ²	стронцій-90, Кі/км ²	уміст рухомих сполук калію, мг/кг ґрунту	обмінна кислотність, рН одиниць
2009 / IX	4,33	0,117	104	5,8
2014 / X	3,19	0,098	92	5,5
2019 / XI	3,24	0,035	86	5,3
2024 / XII	1,53	0,031	71	5,2

У 2009 та 2014 роках на частині сільськогосподарських угідь зафіксовано забруднення цезієм-137 у межах 5,0—15,0 Кі/км², а стронцієм-90 — 0,15—3,0 Кі/км². Частка таких угідь за вмістом цезію-137 становила 17,5 % у 2009 р. та 10,1 % у 2014 р., тоді як за вмістом стронцію-90 — 28,2 % та 11,0 % відповідно.

Починаючи з 2019 р., всі обстежені сільськогосподарські угіддя віднесено до категорії умовно чистих. Виявлене зниження показників зумовлене процесами радіоактивного розпаду, вертикальної міграції радіонуклідів, їх іммобілізації мінеральною фракцією ґрунту, а також впливом агротехнічних заходів.

Водночас зафіксовано негативну динаміку агрохімічного стану ґрунтів. Зокрема, вміст рухомих сполук калію зменшився на 31,1 %, що супроводжувалося переходом забезпеченості ґрунтів із середнього до низького рівня, а також відбулося підкислення ґрунтового розчину: значення рН знизилося з 5,8 (близька до нейтральної реакції) до 5,2 (слабокисла реакція).

Це має важливе радіоекологічне значення, оскільки калій є хімічним аналогом цезію, а кальцій — стронцію. Достатня забезпеченість ґрунту калієм і кальцієм обмежує надходження ^{137}Cs та ^{90}Sr у рослини завдяки конкурентному поглинанню, тоді як кисла реакція середовища підвищує їх рухомість і біологічну доступність.

Отже, результати дослідження свідчать про істотне зниження щільності забруднення ^{137}Cs і ^{90}Sr упродовж 2009—2024 років, що узгоджується із закономірностями їх фізичного розпаду, іммобілізації та міграції в дерново-підзолистих ґрунтах. Водночас погіршення агрохімічного стану ґрунтів, зокрема зменшення вмісту рухомого калію та підкислення, може підвищувати біологічну доступність радіонуклідів і підтримувати ризик їх переходу в сільськогосподарську продукцію. З метою мінімізації цього ризику необхідні систематичне внесення калійних добрив, оптимізація кальцієвого живлення та проведення вапнування кислих дерново-підзолистих ґрунтів із доведенням рН до оптимальних значень.

УДК: 504.054:614.876:633.85

**ВИКОРИСТАННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО (*BRASSICA NAPUS L.*)
У ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ЗЕМЕЛЬ**

О. С. Забарний, к.с.-г.н.

Інститут агроекології і природокористування НААН

E-mail: oleksii_zabarnyi@ukr.net

Аварія на Чорнобильській АЕС спричинила радіаційне забруднення великих площ сільськогосподарських угідь. Радіонукліди потрапили до харчових ланцюгів, що зумовило необхідність обмеження виробництва молока, м'яса та овочевої продукції в уражених регіонах. Протягом майже сорока років рівень радіаційного фону суттєво зменшився завдяки природному розпаду ізотопів, їх

міграції в ґрунті та процесам ерозії. Водночас чимало територій і досі перебувають під певними обмеженнями, а ведення господарської діяльності на таких землях регламентується жорсткими вимогами безпеки.

Екологічно безпечним і економічно доцільним методом зниження забруднення ґрунтів і водних ресурсів є фітореMediaція. Це біологічний спосіб очищення довкілля за участю рослин, здатних акумулювати токсичні речовини у своїй біомасі. Його використовують для прискореного відновлення забруднених земель і повернення їх до сільськогосподарського використання.

Відомо, що окремі групи бактерій, такі як *Azotobacter chroococcum*, *Burkholderia sp.* та *Bacillus megaterium* за використання у посівах ріпаку озимого дозволяють ефективніше накопичувати радіонукліди рослинами — ефективність зростає на 30—50 % порівняно із неінокульованими варіантами.

Дослідниками із Китаю встановлено, що ріпак озимий вирізняється високою здатністю акумулювати кадмій із ґрунту. Понад 85 % елемента накопичувалося в листостебловій масі, а лише незначна його частка переходила до ріпакової олії. Водночас концентрації важких металів у побічній продукції (ріпаковому шроті та соломі) були нижчими за допустимі норми, визначені національними стандартами Китаю для органічних добрив і кормів.

Цікавим є досвід японських вчених із вирощування ріпаку озимого на землях, забруднених після аварії на АЕС «Фукусіма-1». З'ясовано, що стронцій переважно накопичувався у коренях, стеблах і пагонах рослин, тоді як в олії, отриманій із насіння, цього радіонукліда не виявили.

Проведені у Литві дослідження виявили, що найвищу ефективність вилучення кадмію із ґрунту забезпечував оптимальний рівень зволоження. Тоді як нестача або надмір ґрунтової вологи обмежували фітореMediaційний потенціал ріпаку озимого та продовжували період відновлення.

Отже, ріпак озимий є однією із перспективних культур для проведення фітореMediaції. Він здатний поглинати і накопичувати радіонукліди, тим самим зменшуючи їх надходження до харчового ланцюга. Також ріпак сприяє підвищенню біологічної активності та поліпшенню структури ґрунту і може слугувати сировиною для виробництва біопалива.

УДК 504.5:355.422/.424(477.41)

ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У ПОВІТРІ НАД ЧОРНОБИЛЬСЬКОЮ ЗОНОЮ ВІДЧУЖЕННЯ, ПОВ'ЯЗАНИХ З БОЙОВИМИ ДІЯМИ

Б. Б. Заячківська^{1,2}, к.е.н., В. І. Бондарчук²

¹ДУ «Держжурнтохорона»

²Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: b_zayachkivska@nubip.edu.ua; hiz23-v.bondarchuk@nubip.edu.ua

Техногенна катастрофа 1986 року сформувала унікальний екосистемний баланс у Чорнобильській зоні відчуження (ЧЗВ), де основний масив радіонуклідів (Cs^{137} , Sr^{90} , ізотопи Pu) акумульований у верхньому 10-сантиметровому шарі ґрунту та лісовій підстилці [1]. Бойові дії 2022 р. порушили стабільність цього горизонту. В умовах неможливості наземного моніторингу через замінування, методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) на базі супутника Sentinel-5P стали ключовим інструментом екологічної розвідки.

Дослідження реалізовано за допомогою хмарної платформи Google Earth Engine та мови програмування Python. Основною новизною підходу є використання спектрометричних даних приладу TROPOMI для детекції не лише газових домішок (NO_2 , CO, SO_2), а й аерозольного індексу (UVAI) як непрямого показника підняття пилу [2]. Значення загального стовпа газу перераховано у приземну концентрацію (mg/m^3) з урахуванням висоти планетарного межового шару (1000 м). Застосовано метод адаптивних шкал, що дозволяє виявити локальні аномалії на тлі низьких фонових значень ЧЗВ.

Основні результати моніторингу відображають три фази: фоновий стан (2021 р.), пік мілітарного навантаження (2022 р.) та період стабілізації (2023 р.). Динаміку концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі повітря над ЧЗВ наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Динаміка концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі повітря над Чорнобильською зоною відчуження

Показник	Еталонний період (2021)	Період вторгнення (2022)	Повоєнний період (2023)	Динаміка (%)
NO_2 (середнє), mg/m^3	0,00082	0,00095	0,00091	+16
NO_2 (макс.), mg/m^3	0,00129	0,00209	0,00148	+62
CO (середнє), mg/m^3	0,95024	1,01597	0,96108	+7
SO_2 (середнє), mg/m^3	0,0029	0,04165	0,02461	+1436
UVAI (індекс)	-1,60498	-0,34409	-0,49131	Зсув до «+»

Критичним аспектом дослідження є те, що газові викиди у ЧЗВ не є самостійною загрозою (вони значно нижчі за ГДК), але є каталізаторами радіаційного перенесення. Рух важкої техніки та вибухи руйнують ґрунтову кірку. Аерозольний індекс (UVAI) зафіксував перехід від нормативно чистої атмосфери до насиченої поглинаючими частинками (сажа, пил). Саме цей пил є носієм ізотопів.

Різке зростання NO_2 та SO_2 (продукти згоряння дизельного палива та вибухівки) призводить до утворення в атмосфері азотної та сірчаної кислот. Згідно з дослідженнями Є. Гаргера [3], це сприяє переходу радіонуклідів (зокрема Cs^{137}) із фіксованого стану ґрунту в розчинні нітратні та сульфатні форми, які легше мігрують.

Викиди CO є прямим індикатором горіння біомаси. Оскільки ліси ЧЗВ акумулювали радіацію десятиліттями, димові шлейфи (марковані CO) є джерелом транскордонного перенесення радіоактивного попелу.

Бойові дії спричинили деградацію підстилаючої поверхні, що має довгострокові наслідки. Проходження колон техніки знищило рослинний задернований шар, що утримував пил. Викиди SO_2 сприяють локальним кислотним опадам, які пригнічують відновлення рослинності, подовжуючи період оголеного ґрунту. Водночас ці відкриті ділянки ґрунту стають джерелом постійного вторинного підняття радіації під дією вітру (вторинне забруднення повітря).

Отже, дослідження підтверджує, що воєнний вплив на ЧЗВ має комплексний характер. Супутниковий моніторинг виявив аномальні концентрації сульфур діоксиду та нітроген діоксиду, які, попри гранично допустиму токсичність, сприяють міграції радіонуклідів. Зсув аерозольного індексу вказує на масштабне забруднення приземного шару повітря радіоактивним пилом внаслідок руйнування ґрунтового покриву. Повне відновлення екосистем та стабілізація радіаційного фону повітря потребуватиме від 5 до 25 років (залежно від типу екосистеми та ступеня пошкодження) [3].

Література

1. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України від 27 лют. 1991 р. № 791а-ХІІ. Редакція від 01.10.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791a-12> (дата звернення: 12.04.2026).

2. Бойченко, С., Карамушка, В., & Кучма, Т. (2024). Атмосферні ефекти від воєнних дій в Україні У М. Близнюк, В. Михайленко (Ред). *Збірник наукових праць Міжнародної Карпатської Школи: зимова сесія* (с. 57-61). 2-ге вид., доповн. Косів: Наукове товариство ім. Шевченка. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15665.39524>

З. Гаргер, Є. К. (2015). Вторинне радіоактивне забруднення атмосферного повітря. Київ: Академперіодика.

УДК 631.95:633

**ІНТЕГРАЦІЯ СУПУТНИКОВИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА МЕТОДІВ
ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ
РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ**

В. Д. Зосімов, Г. Л. Некусних, Т. М. Воронецька, С. В. Романчук

ДУ «Держґрунтохорона»

E-mail: ecolab23071964@ukr.net

З часу аварії на Чорнобильській АЕС радіоекологічна ситуація на постраждалих територіях України зазнала суттєвих трансформацій. Спостерігається поступове зменшення площ радіонуклідного забруднення та зниження рівнів його інтенсивності, що зумовлено як природними процесами міграції і розпаду радіонуклідів, так і впливом комплексу реабілітаційних заходів. У результаті перегляду радіаційного стану територій скасовано окремі категорії зонування, зокрема четверту зону радіоактивного забруднення [1, 2].

Водночас, незважаючи на загальну тенденцію до зниження радіаційного навантаження, проблема просторової неоднорідності розподілу радіонуклідів у ґрунтовому покриві залишається актуальною. Це зумовлює необхідність застосування сучасних підходів до моніторингу, зокрема інтеграції методів дистанційного зондування Землі та алгоритмів штучного інтелекту для високоточної оцінки і прогнозування радіоактивного забруднення.

Для ідентифікації територій із підвищеним рівнем радіоекологічного ризику, що потребують детального комплексного моніторингу, доцільно використовувати показник внутрішньої дози опромінення населення як інтегральний індикатор, який відображає не лише радіаційний стан, але й соціально-економічні особливості конкретного регіону або населеного пункту. Дослідження, проведені Chobotko et al. [3], Landin et al. [4], засвідчили, що в межах Українського Полісся просторовий розподіл внутрішнього опромінення населення зазнає трансформацій і характеризується новими закономірностями, що залежать від специфіки формування дозового навантаження.

За таких умов проведення широкомасштабних дозиметричних обстежень, як і будь-яких прямих вимірювань, пов'язане зі значними витратами ресурсів і високою трудомісткістю. У цьому контексті застосування методів дистанційного зондування Землі у поєднанні з геоінформаційними технологіями відкриває можливості для оптимізації процесів оцінювання радіоекологічного стану територій та забезпечує ефективне проведення великомасштабного моніторингу.

Подальший розвиток цих підходів пов'язаний із використанням супутникових даних різної просторової та спектральної роздільної здатності (зокрема Sentinel-2, Landsat-8/9), що дозволяють отримувати інформацію про стан рослинного покриву, ґрунтові характеристики та постпожежні зміни ландшафтів. Використання спектральних індексів (NDVI, EVI, NBR) дає змогу опосередковано оцінювати стан екосистем, ступінь деградації рослинності та потенційні зони вторинної міграції радіонуклідів, зокрема цезію-137 та стронцію-90.

Інтеграція супутникових спостережень із наземними радіометричними вимірюваннями у середовищі геоінформаційних систем створює передумови для побудови просторово-часових моделей розподілу радіонуклідів. Особливу роль у цьому відіграють методи штучного інтелекту, зокрема алгоритми машинного навчання (Random Forest, Support Vector Machine, нейронні мережі), які дозволяють встановлювати складні нелінійні залежності між спектральними характеристиками земної поверхні та рівнями радіоактивного забруднення. Застосування таких підходів забезпечує підвищення точності інтерполяції даних, автоматизацію класифікації територій за рівнем радіаційного навантаження та формування прогнозних сценаріїв змін.

Також використання часових рядів супутникових даних у поєднанні з алгоритмами аналізу трендів (BFAST, LandTrendr) дозволяє виявляти довгострокові зміни у стані ґрунтово-рослинного покриву, оцінювати ефекти реабілітаційних заходів і наслідки екстремальних подій, зокрема лісових пожеж, що є важливим чинником ремобілізації радіонуклідів. Такий підхід забезпечує перехід від статичних оцінок до динамічного моніторингу радіоекологічного стану територій.

Інтеграція супутникових спостережень, геоінформаційних технологій та методів штучного інтелекту формує сучасну науково-технічну основу для кількісної оцінки радіоактивного забруднення ґрунтів України. Запропонований підхід дозволяє забезпечити просторово-деталізований і часово-узгоджений аналіз розподілу радіонуклідів, зокрема цезію-137 і стронцію-90, а також суттєво підвищити ефективність виявлення радіоекологічно критичних територій. Використання алгоритмів машинного навчання у поєднанні з даними дистанційного зондування Землі сприяє автоматизації обробки великих масивів інформації, підвищенню точності прогнозування та зменшенню залежності від трудомістких наземних вимірювань.

Отже, впровадження інтегрованих data-driven підходів відкриває нові можливості для науково обґрунтованого управління радіоекологічними ризиками, оптимізації систем моніторингу та забезпечення довгострокового контролю за станом ґрунтового покриву в умовах техногенного навантаження.

Література

1. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (б. д.) : Національна доповідь України. Радіоекологічні наслідки. Динаміка радіоактивного забруднення наземних екосистем та ефективність захисних заходів. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього. URL: <https://komekolog.rada.gov.ua/uploads/documents/36564.pdf>
2. Чоботко, Г. М., Райчук, Л. А., Швиденко, І. К., Уманський, М. С., & Лябах, С. В. (2022). Методичні рекомендації щодо оцінки можливості повернення радіоактивно забруднених земель Українського Полісся в сільськогосподарське виробництво. Київ : ДІА.
3. Chobotko, H., Raichuk, L., Cherniavskiy, A., Liubashenko, N., & McDonald, I. (2019). Complex analysis and mathematical modeling of the internal exposure dose of the Ukrainian Polissya rural population. *Nuclear Physics and Atomic Energy*, 20(4), 397—404. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae.2019.04.397>
4. Landin, V., Chobotko, H., & Raichuk, L. (2020). The formation of current internal exposure doses of the Ukrainian Polissia rural population. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(6), 249—254. DOI: https://doi.org/10.15421/2020_290.

УДК 631.452:539.16(477.65)

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ТА ЗАХОДИ ДЛЯ РЕАБІЛІТАЦІЇ ЧОРНОЗЕМІВ КІРОВОГРАДЩИНИ В УМОВАХ ТРИВАЛОГО ПІСЛЯВАРІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

М. М. Ковальов, к.с.-г.н., доцент

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький
E-mail: nicolaskov80@gmail.com

Сорокаріччя Чорнобильської катастрофи актуалізує науковий аналіз довготривалих радіоекологічних наслідків для агроландшафтів України. Незважаючи на значне природне згасання активності радіонуклідів, чорноземи Кіровоградщини зберігають залишкове забруднення, що впливає на безпеку рослинницької продукції і потребує постійного агроекологічного моніторингу.

Метою роботи є оцінювання сучасного агроекологічного стану типових і звичайних чорноземів області та обґрунтування системи реабілітаційних заходів для зниження надходження радіонуклідів у сільськогосподарські культури.

Дослідження проводилося впродовж 2021—2024 рр. на реперних ділянках Олександрівського, Добровеличківського та Новомиргородського районів. Відбирали зразки ґрунту з горизонту 0—20 см та 20—40 см; активність Cs^{137} і Sr^{90} визначали гамма- і бета-спектрометричними методами [1]. Коефіцієнти переходу радіонуклідів у рослини розраховували за відношенням питомої активності врожаю до щільності забруднення ґрунту.

Установлено, що щільність забруднення Cs^{137} варіює в межах 12—42 кБк/м², Sr^{90} — 0,9—3,8 кБк/м² (табл. 1).

Щільність забруднення чорноземів Кіровоградщини радіонуклідами, середнє за 2021—2024 рр.

Район / Зона	Cs ¹³⁷ , кБк/м ²	Sr ⁹⁰ , кБк/м ²
Олександрівський	18—42	1,2—3,8
Добровеличківський	12—35	0,9—2,6
Новомиргородський	14—38	1,1—3,1
Допустимий рівень	< 37	< 5,5

Загалом показники не перевищують допустимих рівнів, проте в знижених елементах рельєфу та на ділянках з легким гранулометричним складом ґрунту фіксуються локальні аномалії. Аналізування коефіцієнтів переходу (Кп) засвідчило, що найвищі значення характерні для зернових бобових (Кп Cs¹³⁷ 0,08—0,14 м²/кг) і кормових коренеплодів (Кп Sr⁹⁰ 0,12—0,19 м²/кг), тоді як для озимої пшениці та соняшнику вони залишаються нижчими, що пов'язано з фізіологічними бар'єрами поглинання та агрохімічними показниками ґрунту.

На підставі результатів досліджень обґрунтовано комплекс реабілітаційних заходів: 1) вапнування кислих різновидів чорнозему (рН < 5,8) нормами 3—5 т/га СаСО₃, що знижує рухомість Cs¹³⁷ і Sr⁹⁰ на 30—45 %; 2) внесення калійних добрив (К₂О 90—120 кг/га) як антагоністів цезію під зернові культури; 3) глибока плантажна оранка на ділянках з підвищеним забрудненням для релокації активного шару нижче кореневмісного горизонту; 4) фіторе mediaція з використанням технічних культур (міскантус, верба енергетична) на забруднених та деградованих ґрунтах [2].

Отже, чорноземи Кіровоградщини після 40 років аварії на ЧАЕС залишаються об'єктом радіоекологічного контролю. Застосування диференційованих агрохімічних і агротехнічних заходів дозволяє скоротити перехід радіонуклідів у врожай на 35—55 % та забезпечити відповідність продукції нормативам радіаційної безпеки. Отримані дані внесено до регіональної програми охорони ґрунтового покриву Кіровоградської області на 2025—2030 рр.

Література

1. Яцук, І. П., & Балюк С. А. (Ред.). (2019). Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ. Київ: Вік принт. URL: <https://media.iogu.gov.ua/literatura/instructions/1.pdf> (дата звернення: 01.03.2026).

2. Борецька, І. М., Джура, Н. М., & Романюк, О. І. (2021). Фіторе mediaція техногенно забруднених ґрунтів за допомогою енергетичних культур. *Екологічні науки*. № 6. 62–69. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2021/6/11.pdf> (дата звернення: 01.03.2026).

УДК 631.238:631.002.6

СТАН РАДІОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ҐРУНТІВ ТА ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА В ЧЕРКАСЬКІЙ ОБЛАСТІ

*Т. О. Кравченко, О. В. Дмитренко, А. С. Мелешко, Ю. В. Мелешко,
В. М. Романенко, Т. М. Степаненко*

Черкаський регіональний центр ДУ «Держґрунтохорона»

E-mail: cherkassy_grunt@ukr.net

Аварія на Чорнобильській АЕС у квітні 1986 року призвела до забруднення 13 районів правобережної частини Черкащини. Найбільшу щільність забруднення ^{137}Cs (від 1,1 до 5,0 Кі/км^2) та ^{90}Sr (від 0,15 до 3,0 Кі/км^2) фіксували в селах Грищенці, Литвинець та Пищальники Канівського району. До зони гарантованого добровільного відселення були віднесені села: Тростянець Канівського району, Петрівська Гута Лисянського та Княже і Чичиркозівка Звенигородського району. До зон посиленого радіологічного контролю віднесено 99 сіл Черкаської області. До зони безумовного (обов'язкового) відселення не було віднесено жодного населеного пункту. В подальшому відповідно до статті 2 Закону України від 27.02.1991 № 794а-ХІІ «Про правовий режим територій, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» та Постанови Верховної Ради України від 06.10.2009 № 1630 створено експертну групу, рішенням якої від 26.12.2012 № 10 встановлено, що 99 населених пунктів Черкаської області більше не відносяться до зони посиленого радіоекологічного контролю.

На час аварії на ЧАЕС сільськогосподарське виробництво в Черкаській області досягло свого максимуму щодо збереження родючості ґрунтів: землеробство велося за позитивного балансу гумусу і елементів живлення (баланс азоту +57,1; фосфору +32,5; калію +54,0 кг/га), завдяки державному фінансуванню проводилося вапнування кислих ґрунтів, а також різноглибинна оранка, що і послабило негативний вплив радіоактивного забруднення на довкілля. Натепер, коли землеробство області ведеться в умовах дефіциту гумусу та елементів живлення (особливо фосфору і калію), відсутності державної підтримки в проведенні вапнування кислих ґрунтів, яке необхідне на площі 301 тис. га, знижується родючість ґрунтів та їх здатність протистояти забрудненню радіонуклідами, важкими металами та кліматичним викликам. Все це створює загрозу продовольчій безпеці України.

Слід зазначити, що починаючи з 1977 року Черкаська станція хімізації вела дослідження забрудненості ґрунтів радіонуклідами на 24 пунктах спостереження, розміщених в різних районах Черкаської області. Після аварії кількість моніторингових ділянок зросла до 29. Ґрунтові зразки на забруднених та чистих контрольних майданчика (100 × 100 м) відбиралися радіологічним буром на

глибину 20 см з попереднім проведенням γ -зйомки приладом СПР-68-01 за методикою радіаційного обстеження щороку. Питома активність рослинних зразків та щільність забруднення ґрунту радіонуклідами цезію-137 визначалася спектрометрично за допомогою приладу СЕГ-001 «АКП-С» із сцинтиляційним детектором БДЕГ-2-38 і комп'ютерним програмним забезпеченням АК-1. Щільність забруднення стронцієм-90 визначали радіохімічно, оксалатовим методом у ґрунтових та рослинних зразках.

Після Чорнобильської катастрофи за допомогою гамма-зйомки (МАКФАР-ІІ) були виявлені контури плям забруднених радіонуклідами сільськогосподарських угідь, загальна площа яких становила 330 тис. 641 га. Проведено їхнє суцільне радіологічне обстеження. Всього по області після Чорнобильської катастрофи локації з забрудненням $^{137}\text{Cs} > 1 \text{ Ки/км}^2$ виявлено на 152223 га, $^{90}\text{Sr} > 0,02 \text{ Ки/км}^2$ - на 330641 га. Площі з щільністю забруднення ^{137}Cs від 1 до 5 Ки/км^2 виявлено у Звенигородському (16822 га), Канівському (10223 га), Катеринопільському (42192 га), Корсунь-Шевченківському (10215 га), Лисянському (11053 га), Тальнівському (22321 га) та Шполянському (18524 га) районах.

Території, забруднені ^{137}Cs до 1 Ки/км^2 та ^{90}Sr до 0,02 Ки/км^2 , вважаються умовно чистими, де ведення землеробства можливе без обмежень. Відомо, що ^{137}Cs має період напіврозпаду 30 років, а ^{90}Sr — 29 років. По Черкаській області залишаються забрудненими радіонуклідом ^{137}Cs — 63532 га (19 %), а площа ґрунтів із щільністю забруднення радіонуклідом ^{90}Sr від 0,16 до 3,0 Ки/км^2 становить 7096 га (2 %).

Динаміка щільності забруднення сільськогосподарських угідь обстежених районів області радіонуклідами ^{137}Cs та ^{90}Sr підтверджує тенденцію поступового зниження щільності забруднення ґрунтів завдяки природному розпаду, вертикальній міграції радіонуклідів по профілю ґрунту, вітровій і водній ерозії, обмінному та необмінному затриманню їх ґрунтово-вбирним комплексом. ^{137}Cs необмінно фіксується глинистими мінералами чорноземів, тому він менш доступний для рослин, а ^{90}Sr , навпаки, входить до складу обмінних катіонів і є хімічно більш рухомим. Плями радіоактивного забруднення залишилися в Городищенському, Звенигородському, Канівському, Катеринопільському, Корсунь-Шевченківському, Лисянському, Тальнівському, Шполянському, Уманському, Черкаському районах Черкаської області.

Однак не радіаційний фон на Черкащині визначає небезпеку для людини, а загроза внутрішнього опромінення продуктами рослинництва і тваринництва, вирощених на забруднених ґрунтах. За результатами останніх радіологічних досліджень продукції, проведених Черкаським регіональним центром

ДУ «Держгрунтохорона» та ДУ «Черкаський обласний лабораторний центр МОЗ», перевищення регламентованих концентрацій радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr не виявлено.

УДК 631.95:628.516:615.849

**АГРОТЕХНІЧНІ ТА АГРОХІМІЧНІ ЗАХОДИ
ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ НАКОПИЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У ВРОЖАЇ**

Г. Д. Крупко, к.с.-г.н.

Рівненський регіональний центр ДУ «Держгрунтохорона»

E-mail: rivne_grunt@ukr.net

Особливості ведення землеробства на території, що зазнала радіоактивного забруднення, полягають у необхідності виробництва сільськогосподарської продукції з мінімальним умістом в ній радіоактивних речовин. Цьому сприяє створення передумов для максимального зниження переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини. У практиці землекористування важливо застосовувати насамперед ті агротехнічні та агрохімічні заходи для зниження рівня забруднення продукції, виконання яких не потребує істотних змін в існуючих технологіях вирощування сільськогосподарських культур.

Принцип раціонального розміщення культур базується на значній різниці в засвоєнні радіонуклідів різними сільськогосподарськими культурами, що визначається їх біологічними особливостями. Розміщуючи культури, які більше накопичують радіонуклідів на менш забруднених площах, а більш забруднені поля відводячи під культури, не схильні до значного їх нагромадження, можна значно знизити загальний рівень забруднення врожаїв. Залежно від здатності нагромаджувати радіонукліди сільськогосподарські культури можна розмістити в такій послідовності: зернові і зернобобові — кукурудза на зерно, просо, ячмінь, озимі пшениця та жито, овес, гречка, горох, люпин жовтий; кормові культури — кукурудза на силос, стокolos безостий, тимофіївка лучна, конюшина, соняшник, вика, люпин жовтий. З овочевих культур у незначних кількостях накопичують радіоцезій баклажани, цибуля, перець, гарбузи, трохи більше — огірки, помідори, часник, кабачки, морква, петрушка. Значне накопичення цезію-137 характерне для редису, кропу, капусти білоголової. Найбільш забрудненими бувають щавель, капуста кольрабі, буряки столові. Різниця в накопиченні радіоцезію різними видами сільськогосподарських культур досягає десятків разів. Залежно від біологічних особливостей нагромадження радіоцезію в овочах може різнитися в 20—30 разів. Уміст його у зерні кукурудзи може бути в 60 і більше разів меншим, ніж у зерні люпину жовтого. Озимі культури накопичують радіонуклідів в 1,5—2 рази менше, ніж ярі. Залежно від сортових особливостей різниця в нагромадженні

радіонуклідів може становити 2—4 рази. Отже, добір культур і їх сортів для вирощування на забруднених територіях є найбільш простим способом зниження вмісту радіонуклідів у продукції рослинництва.

Інтенсивність міграції радіоцезію в системі «ґрунт—рослина» великою мірою залежить від концентрації його у верхньому шарі ґрунту. Знизити концентрацію радіонукліда в цьому шарі можна за допомогою глибокої оранки (до 30—40 см), яку слід провести за першого докорінного поліпшення природних кормових угідь. Глибина її не повинна перевищувати глибини гумусового горизонту ґрунту з тим, щоб не виорати на поверхню низькородючий шар елювіального горизонту. В умовах господарства цей захід дає змогу знизити щільність забруднення ґрунту радіоцезієм в 1,4—3 рази. Повторну оранку слід провадити на меншу глибину, щоб не вигорнути на поверхню найбільш забруднену частину ґрунту.

Зважаючи на низьку природну родючість ґрунтів, що переважають у забруднених зонах, а також на негативні тенденції до погіршення режиму живлення сільськогосподарських угідь останніми роками, постає необхідність значного збільшення обсягів протирадіонуклідних заходів, диференційованого їх розроблення і впровадження. Найбільш поширеними і доступними серед агрохімічних заходів є вапнування, внесення підвищених доз фосфорних, калійних і органічних добрив.

За вапнування кислих забруднених ґрунтів відбувається нейтралізація кислотності ґрунтового розчину, витіснення іонів водню з ґрунтового поглинаючого комплексу і насичення його кальцієм. Також покращуються фізичні та хімічні властивості ґрунту, підвищується його родючість і зрештою — врожайність культур. Збільшення вмісту кальцію в ґрунті посилює конкуренцію між ним та стронцієм, що є його хімічним аналогом. Завдяки цьому, а також ефекту «розбавлення» вмісту радіонуклідів на одиницю маси продукції при збільшенні врожаю відбувається зниження його радіоактивного забруднення в 1,5—2,5 рази, а в окремих випадках і більше. Вапнування кислих забруднених ґрунтів, по-перше, зумовлює значний екологічний ефект, що виявляється в створенні сприятливіших ґрунтових умов для більшості культур, а також одержанні менш забрудненої продукції. По-друге, підвищуючи разом з цим ефективність мінеральних добрив, воно забезпечує формування більш високих урожаїв, що дає значний економічний ефект. Під час проведення вапнування необхідно досягнути рівномірності внесення рекомендованих доз та заробки в ґрунт. На луках і пасовищах внесене вапно на площі необхідно заборонувати легкими боронами по дернині.

Застосування мінеральних добрив водночас є і способом зниження вмісту радіонуклідів у рослинницькій продукції. Зменшення забруднення урожаю

радіонуклідами за внесення туків зумовлено такими факторами: насиченням ґрунтового розчину калієм і кальцієм та підвищенням через це їх конкуренції з радіонуклідами за перехід з ґрунту в рослини; хімічним зв'язуванням стронцію-90 під впливом фосфорних добрив; підвищенням урожаїв і «розбавленням» при цьому вмісту радіонуклідів в одиниці маси продукції. Раціональне застосування добрив в умовах господарств є основним фактором, спрямованим на розв'язання двох найважливіших проблем землеробства в радіаційно небезпечних зонах: забезпечення виробництва необхідної кількості продуктів харчування дотримуючись вимог їх екологічної та радіаційної безпеки і підвищення родючості ґрунтів.

Внесення органічних і місцевих добрив знижує перехід радіонуклідів з ґрунту в рослини і насамперед це стосується ґрунтів з низьким вмістом гумусу (дерново-підзолисті та сірі лісові). У тих місцях, де є можливість добувати нетрадиційні органічні добрива (сапропель і торфокомпости), доцільно використати їх поряд з гноєм. Сапропелі слід вносити на мінеральних ґрунтах під посіви картоплі й овочів, придатних для дитячого харчування, на половині площ цих культур, що забезпечить підвищення врожайності і зниження надходження радіонуклідів.

УДК 631.95:633

ЕКОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ҐРУНТІВ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ НА ПРИКЛАДІ С. ВОВЧКІВ ПОЛІСЬКОЇ ГРОМАДИ

І. С. Кузьменко, О. В. Дмитренко, к.с.-г.н., Л. Г. Шило, Л. П. Молдован

ДУ «Держґрунтохорона»,

[E-mail: nessi_ku@ukr.net](mailto:nessi_ku@ukr.net); ecolab23071964@ukr.net; ecolab23071964@ukr.net

Чорнобильська катастрофа спричинила тривалі екологічні зміни, що трансформували природні системи Українського Полісся, зокрема ґрунтовий покрив. Радіоактивне забруднення порушило природні процеси ґрунтоутворення, змінюючи фізико-хімічні, агрохімічні та біологічні властивості ґрунтів. Легкий гранулометричний склад, підвищена кислотність і низька поглинальна здатність поліських ґрунтів сприяли міграції радіонуклідів (передусім ізотопів цезію та стронцію), їх перерозподілу в профілі, залученню до біогеохімічних циклів і накопиченню в рослинній продукції, а також змінам у гумусному стані, мікробіологічній активності та біогеохімічних процесах, що визначають екологічну стійкість ґрунтів.

У вирішенні проблем радіоактивно забруднених земель сформовано три основні підходи до поліпшення радіаційної обстановки та їх реабілітації. Перший — моніторинговий, що ґрунтується на використанні природних процесів

самоочищення екосистем і врахуванні періоду напіврозпаду радіонуклідів [1]. Другий — передбачає розроблення методів вилучення радіонуклідів із ґрунту, зокрема шляхом підвищення їх рухливості та акумуляції рослинами з подальшою утилізацією [2, 3]. Третій підхід орієнтований на зменшення міграційної здатності радіонуклідів і обмеження їх поширення найбільш небезпечними шляхами [4]. У сучасних дослідженнях ці підходи розглядаються як взаємодоповнювальні, ефективність яких визначається конкретними природно-екологічними умовами.

У післяаварійний період спостерігається складна динаміка, що поєднує стабілізацію та вторинну мобілізацію радіонуклідів під впливом природних і антропогенних чинників, що зумовлює потребу в детальному вивченні локальних змін ґрунтів.

Село Вовчків Поліської громади Вишгородського району Київської області є репрезентативною територією для вивчення трансформації ґрунтів під тривалим радіоактивним впливом. Аналізування їх стану дозволяє оцінити динаміку змін, обґрунтувати підходи до раціонального природокористування та екологічної реабілітації, уточнити механізми міграції та закріплення радіонуклідів і сформувані науково обґрунтовані рекомендації для мінімізації екологічних ризиків і відновлення продуктивності ґрунтів у пострадіаційних ландшафтах.

Для оцінки екологічної трансформації ґрунтів проаналізовано динаміку вмісту цезію-137 та стронцію-90 у ґрунтах ТОВ «Поділля-Агропродукт» с. Вовчків Поліської територіальної громади Вишгородського району Київської області з 1987 по 2025 рік. Загальна площа досліджуваних земель становила 338 га та включала п'ять полів сільськогосподарського призначення (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка вмісту цезію-137 та стронцію-90 в ґрунтах ТОВ «Поділля-Агропродукт» с. Вовчків Поліської ТГ Вишгородського району з 1987 року по 2025 рік

№ поля	Площа поля, га	1987 рік		1999 рік		2010 рік		2020 рік		2025 рік	
		цезій-137, Кі/км ²	стронцій-90, Кі/км ²	цезій-137, Кі/км ²	стронцій-90, Кі/км ²	цезій-137, Кі/км ²	стронцій-90, Кі/км ²	цезій-137, Кі/км ²	стронцій-90, Кі/км ²	цезій-137, Кі/км ²	стронцій-90, Кі/км ²
1	15,0	4,2	н/д	4,2	н/д	0,109	0,0381	1,78	0,01274	0,128	0,018
2	109,0	9,7	н/д	9,7	н/д	0,112	0,0166	1,78	0,01274	0,132	0,0180
3	58,0	3,4	н/д	3,4	н/д	8,350	0,1270	2,81	0,02876	0,205	0,0112
4	37,0	3,4	н/д	3,4	н/д	5,410	0,1240	2,81	0,02876	—	—
5	119,0	2,1	н/д	2,1	н/д	0,159	0,0137	1,27	0,0137	0,092	0,0115
Всього по господарству (тах за період)	338,0	9,7	н/д	9,7	н/д	8,350	0,1270	2,81	0,02876	0,205	0,0180

Результати дослідження свідчать, що у 1987 р. рівень забруднення цезієм-137 коливався від 2,1 до 9,7 Кі/км², що характеризує територію як радіаційно забруднену після аварії. У подальші роки спостерігали поступову зміну показників, зумовлену проведенням заходів для дезактивації земельних ділянок, а саме внесенням подвійних доз вапнякового борошна, фосфорного борошна та калімагnezії, а також природними процесами розпаду радіонуклідів, вертикальною міграцією та господарською діяльністю.

У 2010 р. на окремих ділянках спостерігали значення цезію-137 до 8,35 Кі/км², що свідчить про нерівномірність перерозподілу радіонуклідів у межах господарства. У 2020 р. показники зменшилися до 1,27—2,81 Кі/км², що демонструє тенденцію до поступового зниження радіоактивного забруднення. Станом на 2025 р. уміст цезію-137 становив 0,092—0,205 Кі/км², що свідчить про значне зниження радіаційного навантаження, однак підтверджує збереження чорнобильського сліду у ґрунтах навіть через майже 40 років після аварії.

Аналогічна тенденція спостерігається і для стронцію-90, концентрації якого поступово зменшувалися упродовж досліджуваного періоду. Це пов'язано як із природним розпадом радіонуклідів, так і з їх перерозподілом у ґрунтовому профілі, що характерно для ґрунтів Українського Полісся.

Встановлено, що екологічна трансформація ґрунтів Українського Полісся має довготривалий характер і проявляється у зміні фізико-хімічних властивостей, біологічної активності та рівня родючості. Важливу роль у цих процесах відіграють природні умови регіону, зокрема надмірне зволоження, легкий гранулометричний склад ґрунтів, близьке залягання ґрунтових вод та значна лісистість території.

Практичне значення результатів полягає у підтвердженні необхідності довготривалого моніторингу радіоактивно забруднених ґрунтів Українського Полісся. Незважаючи на зниження концентрацій радіонуклідів, зберігається ризик їх вторинної міграції у системі «ґрунт — рослина», що потребує постійного контролю. Для підтримання екологічної безпеки важливе впровадження агротехнічних заходів, зокрема, вапнування кислих ґрунтів, внесення органічних, фосфорних і калійних добрив, оптимізація посівних площ та використання культур із низькою здатністю до накопичення радіонуклідів.

Також доцільним є проведення системного агроекологічного моніторингу із застосуванням сучасних геоінформаційних технологій, що дозволить відстежувати просторово-часову динаміку радіоактивного забруднення та оперативно реагувати на можливі зміни екологічного стану території.

Важливу роль у забезпеченні екологічної безпеки та проведенні подібних досліджень відіграє «Держґрунтохорона». Участь установи у подальших дослідженнях дозволить забезпечити системність спостережень, формування

єдиної інформаційної бази даних та підвищення ефективності управління радіаційно забрудненими територіями Українського Полісся.

Отже, результати дослідження підтверджують, що, незважаючи на поступове зниження рівнів радіоактивного забруднення, ґрунти Українського Полісся залишаються об'єктом довготривалого екологічного впливу, що зумовлює необхідність постійного моніторингу, впровадження природоохоронних заходів та активної участі профільних установ у забезпеченні екологічної безпеки регіону.

Література

1. Соботович, Е. В., & Бондаренко, Г.М. (1995). Поняття про самоочищення ландшафтів від радіаційного забруднення. У Бар'яхтар В. Г. (Ред.) Чорнобильська катастрофа (с. 224—228). Київ: Наукова думка.

2. Кутлахмедов, Ю. О., Міхеєв, О. М., & Зезіна Н. В. (1999). Дослідження можливості застосування розроблених методів фітодезактивації та аквафітодезактивації на радіонуклідно забруднених територіях України. У *Наука, Чорнобиль-98: Тези доп. наук.-практ. конф.* (с. 111). Київ: УРУЦ].

3. Швець, Д. І., Стрелко, В. В., & Опенько, Н. М. (2001). Фітосорбція — нові можливості очищення радіоактивно забруднених земель. У *П'ятнадцять років Чорнобильської катастрофи. Досвід подолання: Тези доп. Міжнар. конф.* (с. 16). Київ, [б.в.].

4. Кухар, В. П., & Ляшенко, О. М. (1999). Обґрунтування та розробка технології фіксації радіонуклідів в орному шарі ґрунту. У *Наука, Чорнобиль-98 : Тези доп. наук.-практ. конф.* (с. 37). Київ: УРУЦ.

УДК 355.018:539.165:631.474

ҐРУНТОВИЙ ПОКРИВ ЯК ОБ'ЄКТ ВОЄННОГО УРАЖЕННЯ: МАСШТАБИ ДЕГРАДАЦІЇ ТА ПРІОРИТЕТИ РЕАБІЛІТАЦІЇ

І. В. Литвиненко, к.с.-г.н.

ДУ «Держґрунтохорона»

E-mail: igor-lit@ukr.net

Повномасштабне вторгнення рф у 2022 році завдало безпрецедентної шкоди ґрунтовому покриву України. Лише в межах Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) 35-денна окупація та супутні бойові дії (риття окопів і траншей на площі 6 га, мінування, артилерійські обстріли) порушили 36-річний процес природної стабілізації радіоактивного забруднення. Наслідком розриття верхнього ґрунтового шару відбулося перевищення рівня бета-випромінювання в 160 разів відносно фонових значень.

Дослідженнями встановлено, що після інтенсивних бойових дій на 1 км² території накопичується близько 50 т металевих уламків снарядів, 2,35 т сполук міді та 1 т сполук сірки — лише від корпусів боєприпасів без урахування вибухових речовин. Також важко підрахувати обсяги важких металів та інших

сполук. Вибухи снарядів призводять до значного механічного переміщення ґрунтової маси: за розрахунками, на кожному квадратному кілометрі активних боїв утворюється в середньому 2052 воронки (від 82-мм до 152-мм снарядів), що витісняють щонайменше 9000 т ґрунту (1 кг вибухової речовини в середньому викидає 1,2—1,5 м³ ґрунту). Вирви, це тільки видима частина розривів снарядів, оскільки димові, запалювальні та встановлені на осколкову дію снаряди їх не залишають, але є викиди від них, порахувати навіть приблизну кількість яких неможливо. Забруднення фосфорними сполуками, нафтопродуктами та продуктами детонації додатково пригнічує ґрунтове біорізноманіття — необхідну умову відновлення родючості. Процеси очищення ґрунтів, забруднених залишками вибухових речовин як DNAN, NTO, TNT, RDX, HMX, 2,4 DNT можуть тривати понад 200 років.

Природне відновлення 20-сантиметрового шару ґрунту потребує від 1500 до 7400 років, оскільки за 100 років формується лише 0,5—2 см гумусового горизонту. Досвід постконфліктного землекористування підтверджує тривалість та складність реабілітаційних процесів: у колишній Югославії сільськогосподарське виробництво було зупинено на площі 2,5 млн га через хімічне забруднення; у Франції ділянки «Червоної зони», забрудненої в роки Першої світової війни, залишаються непридатними для господарського використання понині.

На найбільш деградованих ділянках фіторе mediaція є економічно недоцільною або технічно неможливою, що зумовлює єдину реалістичну стратегію — виведення таких земель із господарського обороту з наданням їм природоохоронного статусу. Досвід ЧЗВ демонструє, що припинення антропогенного навантаження забезпечує поступове відновлення екосистемних функцій навіть в умовах радіаційного забруднення.

Отже, включення забруднених війною земель до складу природно-заповідного фонду є обґрунтованим з наукової та практичної точок зору рішенням, що одночасно: 1) унеможливорює потрапляння токсичних речовин у харчовий ланцюг через сільськогосподарську продукцію; 2) створює умови для природного відновлення ґрунту; 3) сприяє досягненню Україною цілей Стратегії ЄС з біорізноманіття до 2030 року, яка передбачає розширення природоохоронних територій (до 30 % суші та моря), відновлення деградованих екосистем, зменшення використання пестицидів та збільшення площі лісів. Реалізація цього підходу дозволить суттєво наблизитися до подвоєння площі об'єктів природно-заповідного фонду, що є однією з умов гармонізації екологічного законодавства України і ЄС.

Зрештою, таке рішення захищатиме не лише наше довкілля, а й нас самих, подібно до того, як вже 40 років нас захищає і чорнобильська природа.

УДК 631.4:539.16(477)

МІГРАЦІЯ РАДІОНУКЛІДІВ У СИСТЕМІ «ГРУНТ — РОСЛИНА» ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

С. В. Мандебура

Уманський національний університет

E-mail: eko14b.mandebura@gmail.com

Після аварії на Чорнобильській АЕС значні площі сільськогосподарських угідь України зазнали радіоактивного забруднення. Основну небезпеку становлять довгоживучі радіонукліди, зокрема цезій-137 (Cs-137) та стронцій-90 (Sr-90), які активно долучаються у біогеохімічні цикли та здатні мігрувати у системі «грунт — рослина». На сьогодні актуальним науковим завданням є визначення особливостей міграції радіонуклідів у системі «грунт — рослина» після аварії на Чорнобильській АЕС, аналіз основних факторів, що впливають на надходження цезію-137 і стронцію-90 у рослини, встановлення їх впливу на якість сільськогосподарської продукції. а також пошук шляхів зниження рівня накопичення радіонуклідів у продукції рослинництва.

Мета роботи — дослідити закономірності міграції радіонуклідів у системі «грунт — рослина» та оцінити їх вплив на якість сільськогосподарської продукції.

Міграція радіонуклідів є складним процесом, що визначається фізико-хімічними властивостями ґрунту. Найважливішими факторами є гранулометричний склад, уміст гумусу, кислотність (рН), а також забезпеченість елементами живлення. У кислих і легких за механічним складом ґрунтах радіонукліди перебувають у більш рухомих формах, що сприяє їх активному поглинанню рослинами.

Цезій-137 за своїми властивостями подібний до калію, тому активно засвоюється рослинами через кореневу систему. Водночас стронцій-90 є аналогом кальцію, що зумовлює його накопичення у тканинах рослин. Інтенсивність надходження радіонуклідів залежить також від біологічних особливостей культур. Наприклад, зернові культури зазвичай накопичують менше Cs-137, ніж кормові трави.

Важливим аспектом є вертикальна міграція радіонуклідів у ґрунтовому профілі. З часом вони переміщуються у глибші горизонти, що частково знижує їх доступність для рослин [1]. Проте у випадку порушення ґрунтового покриву або інтенсивного обробітку можливе повторне залучення радіонуклідів у біологічний кругообіг.

Накопичення радіонуклідів у рослинній продукції безпосередньо впливає на її якість і безпечність. Перевищення допустимих рівнів умісту цезію-137 і стронцію-90 у продуктах харчування становить ризик для здоров'я населення.

Особливо це стосується молока, м'яса та продукції рослинництва, отриманих у забруднених регіонах.

Для зниження переходу радіонуклідів у рослини застосовують комплекс заходів. Внесення калійних добрив зменшує поглинання цезію-137, а вапнування ґрунтів — стронцію-90. Органічні добрива сприяють фіксації радіонуклідів у ґрунті. Важливе значення має також підбір культур і сортів, менш схильних до накопичення радіонуклідів.

Отже, міграція радіонуклідів у системі «ґрунт — рослина» є ключовим фактором формування радіоекологічного стану агроландшафтів. Розуміння цих процесів дозволяє ефективно управляти якістю сільськогосподарської продукції та забезпечувати її безпечність.

Література

1. Dirican, A., Dikmen, H., Şahin, M., Gülay, Y., Özkök, Y. Ö., Kaya, N., & Vural, M. (2024). Transfer factors of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{210}Pb to crops and radiation impact assessment in semi-arid environment. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. Vol. 333. 5597—5606. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-024-09594-4>

УДК 504.5:539.16(477)

СУЧАСНИЙ РІВЕНЬ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АГРОЛАНДШАФТІВ УКРАЇНИ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

С. В. Мандебура

Уманський національний університет

E-mail: eko14b.mandebura@gmail.com

Аварія на Чорнобильській АЕС у 1986 році стала одним із наймасштабніших техногенних забруднень довкілля радіонуклідами у світі. Значні площі сільськогосподарських угідь України зазнали радіоактивного впливу, що зумовило довготривалі екологічні, економічні та соціальні наслідки. Незважаючи на тривалий період після аварії, проблема радіоактивного забруднення агроландшафтів залишається актуальною і сьогодні [1].

Основними радіонуклідами, що визначають сучасний стан забруднення, є цезій-137 та стронцій-90, які характеризуються тривалими періодами напіврозпаду та здатністю включатися в біогеохімічні цикли. З часом відбулося значне зниження рівнів їхньої активності внаслідок природного розпаду, вертикальної міграції у ґрунтовому профілі та фіксації ґрунтовими компонентами. Проте в окремих регіонах, зокрема на Поліссі, зберігаються підвищені рівні радіоактивного забруднення.

Сучасний розподіл радіонуклідів в агроландшафтах має виражену просторову неоднорідність. Найбільш забрудненими залишаються ґрунти легкого гранулометричного складу з низьким умістом гумусу, де спостерігається підвищена рухомість радіонуклідів. У таких умовах підвищується ризик їх переходу в сільськогосподарські культури, що безпосередньо впливає на якість продукції рослинництва.

Важливим аспектом є міграція радіонуклідів у системі «ґрунт — рослина». Інтенсивність цього процесу залежить від фізико-хімічних властивостей ґрунту, рівня кислотності, забезпеченості елементами живлення, а також біологічних особливостей культур. Встановлено, що підвищений вміст калію у ґрунті знижує накопичення цезію-137 у рослинах, тоді як вапнування сприяє зменшенню доступності стронцію-90.

На сучасному етапі значна увага приділяється моніторингу радіоекологічного стану агроландшафтів. Регулярні спостереження дозволяють оцінювати динаміку забруднення, визначати зони підвищеного ризику та розробляти заходи щодо їх раціонального використання. В Україні функціонує система радіаційного контролю, яка охоплює як ґрунти, так і сільськогосподарську продукцію.

Серед ефективних заходів зниження радіоактивного забруднення слід виділити агрохімічні методи, зокрема внесення калійних і фосфорних добрив, вапнування кислих ґрунтів, а також застосування органічних добрив і меліорантів [2]. Важливу роль відіграє оптимізація структури посівних площ і вирощування культур, менш схильних до накопичення радіонуклідів.

Отже, сучасний стан радіоактивного забруднення агроландшафтів України характеризується поступовим зниженням рівнів радіонуклідів, однак проблема залишається актуальною для окремих регіонів. Подальше вдосконалення системи моніторингу та впровадження науково обґрунтованих заходів є необхідною умовою забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку сільського господарства.

Література

1. Яцик, А. В., & Гопченко, Є. Д. (2004). Радіоекологія: навч. посіб. Київ: Либідь.
2. Huang, F., Dong, F., Chen, L., Zeng, Y., Zhou, L., Sun, S., ... & Fang, L. (2024). Biochar-mediated remediation of uranium-contaminated soils: evidence, mechanisms, and perspectives. *Biochar* 6, 16. <https://doi.org/10.1007/s42773-024-00308-3>

УДК 631.95:539.16(477)

СУЧАСНІ МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ В АГРОСФЕРІ ТА ЇХ ЕФЕКТИВНІСТЬ

С. В. Мандебура

Уманський національний університет

E-mail: eko14b.mandebura@gmail.com

Аварія на Чорнобильській АЕС у 1986 році спричинила значне радіоактивне забруднення сільськогосподарських угідь, що зумовило необхідність розроблення ефективних методів зменшення надходження радіонуклідів у продукцію рослинництва. На сучасному етапі сформовано комплекс підходів, спрямованих на обмеження міграції цезію-137 та стронцію-90 у системі «грунт — рослина» [1].

Мета роботи — проаналізувати сучасні методи зниження радіоактивного забруднення агросфери та оцінити їх ефективність у контексті забезпечення екологічної безпеки сільського господарства.

Одним із найбільш ефективних напрямів є агрохімічні методи. Внесення калійних добрив сприяє зниженню поглинання цезію-137 рослинами завдяки конкурентній взаємодії між калієм і цезієм. Фосфорні добрива та вапнування кислих ґрунтів зменшують біодоступність стронцію-90, переводячи його у малорухомі форми. Застосування органічних добрив підвищує вміст гумусу, що сприяє фіксації радіонуклідів у ґрунтового профілі.

Агротехнічні заходи також відіграють важливу роль у зниженні радіоактивного забруднення. Глибока оранка сприяє переміщенню радіонуклідів у нижні горизонти ґрунту, зменшуючи їх доступність для кореневої системи рослин. Оптимізація структури посівів, зокрема вирощування культур із низькою здатністю до накопичення радіонуклідів, дозволяє мінімізувати ризики отримання забрудненої продукції.

Біологічні методи містять використання рослин-акумуляторів для фітореMediaції, а також застосування мікроорганізмів, спроможних змінювати міграційну здатність радіонуклідів. Хоча ці методи є перспективними, їх ефективність залежить від конкретних ґрунтово-кліматичних умов і потребує подальших досліджень.

Оцінка ефективності таких заходів свідчить, що найбільш результативним є їх комплексне застосування. Поєднання агрохімічних і агротехнічних методів дозволяє знизити надходження цезію-137 у рослини у 2—5 разів, а стронцію-90 — у 1,5—3 рази залежно від умов. Водночас ефективність заходів значною мірою визначається типом ґрунту, рівнем його кислотності, вмістом органічної речовини та кліматичними чинниками.

Отже, сучасні методи зниження радіоактивного забруднення в агросфері є достатньо ефективними за умови їх науково обґрунтованого та системного застосування. Подальший розвиток цих підходів повинен бути спрямований на вдосконалення технологій ремедіації та адаптацію їх до регіональних особливостей сільськогосподарського виробництва.

Література

1. Прістер, Б. С., & Перепелятников, Г.П. (1994). Сільськогосподарська радіоекологія. Київ: Урожай.

УДК 504.064.2.001

МІЖНАРОДНІ ГІС-ПРОЄКТИ В ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

О. В. Мельник

Всеукраїнський благодійний фонд сприяння розвитку геоінформаційних технологій та послуг «ГІС-Асоціація України»

E-mail: oleksandr.v.melnyk@gmail.com

ГІС-Асоціацію України створено 1996 року спільнотою фахівців, що працюють у галузях інформаційних технологій, картографії, геодезії та будівництва. У період ліквідації наслідків Чорнобильської аварії накопичено досвід, зокрема і міжнародний, зі створення аналітичних систем і систем прогнозування. Чорнобильська зона відчуження є унікальною територією для застосування геоінформаційних систем (ГІС) у моніторингу довкілля та радіаційної безпеки.

Після аварії на Чорнобильській атомній електростанції міжнародні організації ініціювали створення цифрових карт радіоактивного забруднення.

Проекти за участю Міжнародного агентства з атомної енергії спрямовані на картографування ізотопів (Cs^{137} , Sr^{90}) та прогнозування їх міграції.

Спільні дослідження України та ЄС у межах програм, зокрема Європейської комісії, використовують ГІС для:

- моделювання поширення радіонуклідів;
- аналізу змін ландшафтів і лісових екосистем;
- планування безпечних маршрутів і робіт.

RODOS (системи підтримки прийняття рішень у режимі реального часу)

Використання супутникових даних (Sentinel, Landsat) інтегрується в міжнародні ГІС-платформи для дистанційного моніторингу пожеж і вторинного радіаційного забруднення.

Проекти за підтримки Програми розвитку ООН спрямовані на створення відкритих геопорталів та баз даних для науковців і органів управління.

ГІС застосовуються для 3D-моделювання об'єктів укриття над 4-м енергоблоком (Новий безпечний конфайнмент) та оцінки ризиків.

Міжнародна співпраця сприяє стандартизації геоданих, відкритому доступу до інформації та підвищенню екологічної безпеки регіону.

УДК 504.5:621.311.25(477)

ЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ СЛІД: ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ КАТАСТРОФИ ТА ШЛЯХИ ВІДНОВЛЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Р. М. Міщенко, О. В. Адаменко

Відокремлений структурний підрозділ

«Боярський фаховий коледж НУБіП України»

Чорнобильська катастрофа 1986 року є однією з наймасштабніших техногенних аварій у світі, наслідки якої мають довготривалий і комплексний характер [1]. Вона суттєво вплинула на стан довкілля України та інших європейських країн, сформувавши так званий Чорнобильський слід як сукупність екологічних, соціальних і наукових проблем [2].

У результаті аварії відбувся потужний викид радіоактивних речовин у атмосферу, що спричинило масштабне забруднення ґрунтів, водних ресурсів і рослинного покриву [3]. Найбільш небезпечними є радіонукліди цезій-137 і стронцій-90, які характеризуються тривалим періодом напіврозпаду та здатністю накопичуватися в біологічних системах [1]. Вони активно вступають в біогеохімічні цикли та передаються через харчові ланцюги, створюючи тривалий радіаційний вплив на живі організми [4].

Значного впливу зазнали ґрунтові ресурси, оскільки саме ґрунт є основним депонентом радіонуклідів. Радіоактивні ізотопи можуть фіксуватися у верхніх горизонтах ґрунту або мігрувати вглиб, змінюючи його агрохімічні властивості та знижуючи родючість [3]. Це ускладнює використання земель у сільському господарстві та потребує постійного контролю.

Екологічні наслідки катастрофи проявилися у значних змінах структури екосистем. У перші роки після аварії спостерігали загибель лісів, порушення розвитку рослинності, зменшення чисельності тварин та генетичні зміни в організмах [2]. Особливо показовим є явище «Рудого лісу», який зазнав значного радіаційного ураження. Надалі відбулися трансформації біоценозів: частина видів зникла, тоді як інші адаптувалися до нових умов [3].

Водночас у зоні відчуження з часом почали проявлятися процеси природного відновлення. Відсутність активної господарської діяльності сприяла відновленню природних ландшафтів, збільшенню чисельності диких тварин і формуванню відносно стабільних екосистем [5]. Це явище підтверджує значну роль

антропогенного фактора у деградації довкілля та демонструє потенціал природного самовідновлення [4].

Важливим аспектом є стан водних ресурсів. Радіонукліди можуть потрапляти у річки, озера та підземні води, накопичуючись у донних відкладах і водних організмах [1]. Це створює ризики вторинного забруднення та потребує довготривалого моніторингу водних систем.

Окрему увагу слід приділити впливу катастрофи на кліматичні та мікрокліматичні умови локальних територій. Зміни рослинного покриву та ландшафтів можуть впливати на тепловий баланс, вологість та інші параметри довкілля [2].

Для мінімізації наслідків катастрофи застосовується комплекс заходів. Серед них — радіаційний моніторинг, який дозволяє оцінювати динаміку забруднення; рекультивация земель шляхом ізоляції або видалення забрудненого шару; обмеження господарської діяльності; створення спеціальних природоохоронних територій [3]. Важливу роль відіграє лісовідновлення, що сприяє закріпленню ґрунтів і зменшенню міграції радіонуклідів [5].

Сучасні наукові дослідження базуються на застосуванні інноваційних технологій, таких як геоінформаційні системи, дистанційне зондування Землі, безпілотні літальні апарати та математичне моделювання [2]. Це дає змогу отримувати точні дані про стан довкілля, прогнозувати екологічні процеси та розробляти ефективні стратегії управління територіями.

Також важливим є міжнародний досвід співпраці у сфері подолання наслідків Чорнобильської катастрофи. Спільні наукові проекти, обмін інформацією та впровадження міжнародних стандартів сприяють підвищенню ефективності природоохоронних заходів [4].

Отже, Чорнобильський слід є складним багатокomпонентним явищем, що потребує системного підходу до його вивчення. Досвід ліквідації наслідків катастрофи має важливе значення для розвитку екологічної науки, удосконалення механізмів реагування на техногенні аварії та забезпечення екологічної безпеки в майбутньому [1].

Література

1. Гудковський, В.І. (Ред). (2018). Чорнобильська катастрофа: наслідки та сучасні дослідження. Київ: Наукова думка.
2. Кравченко, О. П. (2020). Екологія та радіаційна безпека: навч. посібник. Київ: Либідь.
3. Руденко, Л. М. (Ред). (2019). Довкілля України: стан, проблеми, перспективи. Київ: Академперіодика.
4. Богдан, І. М. (2017). Радіоекологія: підручник. Львів: Новий Світ.
5. Зібцев, С.В. (2021). Природні екосистеми Чорнобильської зони: відновлення та розвиток. Київ: Інститут екології НАН України.

УДК 631.4. 504

ЗАПАСИ, ПОШИРЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН МІСЦЕВОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ЯКОСТІ МЕЛІОРАНТІВ НА РАДІАЦІЙНО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ

О. С. Мороз, к.с-г.н, доцент, В. М. Фурман, к.с-г.н, доцент,
В. П. Антонюк

Національний університет водного господарства та природокористування

Полісся займає приблизно 20 % території України, серед яких більше 15 % сільськогосподарських угідь і 13 % орних земель. До 90 % площі всіх ґрунтів Полісся забруднені радіонуклідами в результаті аварії на ЧАЕС.

Відомо, що корисні копалини місцевого значення і особливо ті, що відносяться до четвертинної, крейдянної систем характеризуються позитивними властивостями за використання не тільки для хімічних меліорацій, але й як сорбенти для закріплення катіонів, зокрема і радіонуклідів. Мергелі, суглинки та туфи належать до четвертинних геологічних відкладів.

Проаналізовано дані геологічних досліджень Комплексної геологічної партії «Північгеологія», яка вивчала запаси та поширення корисних копалин місцевого значення в Рівненській області. За результатами аналізування розроблено карту запасів меліорантів місцевого значення (рис. 1).



Рис. 1. Геологічна карта четвертинних відкладів Рівненської області (за даними «Північгеологія»)

Аналізуючи дані про запаси корисних копалин слід зазначити, що суглинки, глини, мергель та туфи зустрічаються на території області у різних об'ємах.

Корисні копалини місцевого значення розрізняються за мінералогічним, гранулометричним, хімічним складом, вбирною здатністю. Особливо важливою їх властивістю є вбирна здатність, яка найбільшою мірою зумовлюється наявністю фракцій фізичної глини та мулу. Для нейтралізації ґрунтової кислотності важливою ознакою меліорантів є наявність кальцію. До високодисперсних аморфних сполук належать також гумусні речовини, вулканічні туфи.

Позитивні мінералогічні, хімічні та екологічні властивості туфів волинської серії, зокрема їх висока здатність до сорбції радіонуклідів, дозволяють розглядати цю сировину як корисну копалину, що може служити природним меліорантом радіоактивно забруднених ґрунтів.

Проведені дослідження з вивчення запасів, поширення та властивостей копалин місцевого значення засвідчують, що в північних районах області найбільше розвідані і розробляються запаси суглинків, туфів та мергелю, які у значних кількостях містять кальцій, магній, калій, фракції фізичної глини, вторинні мінерали, що дозволяє віднести їх до груп природних сорбентів і, враховуючи їх запаси та поширення, рекомендувати їх для хімічних та структурних меліорацій.

УДК 631.95

МОНІТОРИНГ ҐРУНТІВ У МЕРЕЖІ СТАЦІОНАРНИХ МАЙДАНЧИКІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ У ТЕРНОПІЛЬСЬКІЙ ОБЛАСТІ

*Б. І. Ориник, О. З. Бровко, Г. М. Дзяба, Л. С. Ковбасюк, С. М. Серединський
Тернопільський регіональний центр ДУ «Держґрунтохорона»*

E-mail: Terno_rod@ukr.net

У перші місяці після аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 році внаслідок переносу повітряних мас під радіаційне забруднення попали території ряду областей України. Одним з основних джерел радіоактивного забруднення після аварій на АЕС є цезій-137, який довгостроково зберігається в ґрунті (період піврозпаду якого становить приблизно 30 років).

У Тернопільській області порівняно незначний рівень забруднення отримали південні райони: Бучацький, Борщівський, Заліщицький і Чортківський (щільність забруднення ¹³⁷Cs місцями від 37 до 185 кБк/м², або від 1,0 до 5,0 Ки/км²).

Для щорічного систематичного спостереження за динамікою накопичення радіонуклідів та забезпечення радіоекологічного моніторингу у 1982 р. на всій території області закладено 22 моніторингові ділянки. У 1990 р. через аварію на АЕС дозакладено іще 13 ділянок в районах, на які припало часткове забруднення.

Моніторинговими ділянками охоплено всі ґрунтово-кліматичні зони області. 33 моніторингові ділянки закладено на сільськогосподарських угіддях господарств, які знаходяться в обробітку. Дві моніторингові ділянки закладені в дендропарках: в селі Гермаківка Чортківського (Борщівського) району та місті Хоросткові Чортківського (Гусятинського) району. Більша частина їх, а саме 20 моніторингових ділянок, закладено в південних районах, на які припало забруднення.

Моніторингові ділянки розміщені в полях загальних агровиробничих сівозмін. Величина елементарної ділянки становить 1 га і має конкретно визначені геодезичні кордони. За назвою ґрунту вони розподіляються на дерново-карбонатні, сірі та темно-сірі опідзолені, чорноземи опідзолені, чорноземи типові, чорноземи та сірі поверхнево-глеюваті, а по коду механічного складу відносяться до середньо суглинкових (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка зміни питомої активності на стаціонарних майданчиках спостереження у Тернопільській області (2021—2025 рр.), кБк/м²

Моніторингові ділянки	Ґрунтова агровиробнича група (код)	Роки обстеження				
		2021	2022	2023	2024	2025
UA 612168210105	41д	2,01	2,0	2,01	1,99	1,99
UA 612208870106	46д	3,93	3,78	3,58	3,44	3,51
UA 612208240107	46д	2,81	2,76	2,72	2,62	2,61
UA 612461050012	53д	2,14	2,11	2,1	2,09	2,08
UA 612508270214	41д	2,16	2,13	2,14	2,12	2,13
UA 612558730115	41е	4,85	4,7	4,58	4,45	4,4
UA 612088550118	33д	7,82	7,72	7,57	7,57	7,55
UA 612161100022	53д	2,76	2,72	2,68	2,62	2,6
UA 612208330123	41д	12,67	12,57	12,49	12,4	12,35
UA 612208170124	41д	32,41	32,01	31,86	31,23	30,86
UA 612208170125	41д	29,87	28,39	28,24	27,86	27,79
UA 612558980126	45д	6,08	6,03	5,95	5,87	5,82
UA 612558700127	41е	4,62	4,52	4,47	4,32	4,29
UA 612558700128	40е	6,15	6,0	5,95	5,83	5,83
UA 612558800129	49д	9,9	9,77	9,67	9,32	9,22
UA 612208330134	41д	13,75	13,65	13,57	13,38	13,48

Щороку на цих ділянках здійснюється відбір зразків ґрунту і рослин та визначається потужність експозиційної дози за допомогою приладу СРП-68-01.

За результатами досліджень спостерігається тенденція щодо зниження питомої активності забруднення ґрунтів радіонуклідами цезію-137 і стронцію-90 на всіх ділянках.

Починаючи з 2016 р., забруднення радіонуклідами на моніторингових ділянках не фіксується (див. табл. 1). Радіаційний стан ґрунтів Тернопільської області стабілізувався. В нинішніх умовах можна вирощувати всі районовані культури та їх сорти по загальноприйнятих технологіях.

УДК 633.15:631.559

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ В УМОВАХ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ПОЛІССЯ

Р. П. Паламарчук, доктор філософії,

Я. С. Цимбал, к.с.-г.н., М. В. Алексеєнко, Т. О. Ільєнко

ДУ «Держґрунтохорона»

E-mail: prp777@ukr.net; tsimbal.ya@gmail.com

Після аварії на Чорнобильській АЕС, що сталася 26 квітня 1986 року, відбулося масштабне радіоактивне забруднення значних територій України та суміжних країн. Унаслідок викиду радіонуклідів, зокрема цезію-137 і стронцію-90, уражено понад 145 тис. км², де рівні радіаційного забруднення перевищували допустимі показники. Ці ізотопи накопичувалися у ґрунтового покриві та вступали в природні біогеохімічні процеси, що сприяло їх подальшому поширенню в екосистемах.

Екологічні та господарські наслідки катастрофи особливо відчутні для аграрного сектору. Радіоактивне забруднення ґрунтів і водних ресурсів призвело до зниження врожайності сільськогосподарських культур і погіршення якості продукції. Через включення радіонуклідів до трофічних ланцюгів відбувалося накопичення небезпечних речовин у рослинній і тваринній продукції. Значні площі орних земель опинилися в зоні підвищеного радіаційного ризику: зокрема, понад 126 тис. га мали високий рівень забруднення цезієм-137, а значна частина з них перевищувала критичні пороги. Ці території охоплюють 74 райони 12 областей (Вінницька, Волинська, Житомирська, Івано-Франківська, Київська, Рівненська, Сумська, Тернопільська, Хмельницька, Черкаська, Чернівецька та Чернігівська).

Найбільше постраждало Полісся, зокрема Житомирська область, де деградація агроєкосистем суттєво обмежила можливості ведення ефективного сільськогосподарського виробництва.

За чотири десятиліття відбулося поступове відновлення ґрунтового середовища: поліпшилася структура ґрунту, активізувалися мікробіологічні процеси, відновилися рослинні угруповання. Відсутність інтенсивного

сільськогосподарського використання сприяла природній ренатуралізації екосистем, що позитивно вплинуло на родючість і біорізноманіття. Проте в окремих локальних зонах з високим рівнем забруднення радіаційний фактор і досі залишається стримуючим для повного відновлення, тому ці території потребують подальшого моніторингу та обмежень у використанні.

У сучасних умовах землекористування особливої актуальності набуває застосування інтегрованого підходу до оцінки агроєкологічного стану сільськогосподарських земель, що були вилучені з господарського обігу під впливом різних чинників. Така оцінка є науковою основою для розроблення обґрунтованих заходів щодо їх безпечного повернення до використання, із врахуванням необхідності збереження родючості ґрунтів і зниження потенційних екологічних ризиків.

Саме тому відповідні дослідження мають важливе практичне значення, оскільки дозволяють сформувані ефективні підходи до відновлення продуктивного землекористування з одночасним забезпеченням екологічної стабільності агроландшафтів, що підкреслює їхню актуальність і своєчасність.

Дослідження з вивчення впливу доз мінеральних добрив та сівозмінного фактору на агроєкологічний стан дерново-підзолистого ґрунту, продуктивність, урожайність і якість отриманої продукції культур 5-пільної сівозміни проводили впродовж 2015—2019 рр. у стаціонарному досліді на території с. Христинівка Народицького району Житомирської області, яке належить до 2-ї зони радіоактивного забруднення.

Сільськогосподарські культури вирощували в 5-пільній зерно-просапній сівозміні з таким чергуванням: овес — люпин — тритикале яре — буряки кормові — кукурудза на зерно за відповідних доз мінеральних добрив, передбачених робочою програмою (без добрив (контроль), 1-а доза та 2-а доза добрив). Розрахунок азотних добрив здійснювали під кожен культуру на запланований урожай. Норма фосфорних добрив збільшена у 1,5 раза, а калійних добрив у 2 рази у 3-му варіанті.

Проведені дослідження дозволили сформувані теоретичне узагальнення та нове вирішення наукового завдання, що полягає у встановленні закономірностей формування агрохімічних, фізико-хімічних та агроєкологічних показників дерново-підзолистого ґрунту під культурами зерно-просапної п'ятипільної сівозміни за застосування різних доз мінерального удобрення, а також науково обґрунтувати оптимальну систему удобрення, що забезпечує підвищення продуктивності, поліпшення якості рослинницької продукції та мінімізацію екологічних ризиків в умовах зони радіоактивного забруднення Житомирського Полісся.

За результатами досліджень встановлено, що найефективнішою в умовах дерново-підзолистих ґрунтів Житомирського Полісся є система удобрення з використанням 1-ї дози мінеральних добрив, яка забезпечує стабілізацію гумусного стану ґрунту ($-0,07$ т/га за ротацію, інтенсивність 99 %), позитивний баланс поживних речовин ($+188,6$ кг/га фосфору та $+92,5$ кг/га калію), зниження вмісту радіонуклідів у ґрунті та основній продукції, підвищення рівня врожайності культур сівозміни на 27—35 %, поліпшення якісних показників, отримання 12,7 тис. грн/га умовно чистого прибутку за рівня рентабельності 34 % та коефіцієнта енергетичної ефективності (K_{ee}) більше 3,7. Така система поєднує високу продуктивність, економічну доцільність та екологічну безпечність вирощеної продукції, що робить її оптимальною для сталого агровиробництва у зоні ризикованого землеробства.

УДК: 502.174:631.4](045)

СУЧАСНІ АСПЕКТИ РЕАБІЛІТАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ

Р. В. Подзерей, к.с.-г.н., доцент

Уманський національний університет

E-mail: Podzerej81@gmail.com

Стан ґрунтового покриву на сучасному етапі характеризується високим рівнем деградаційних процесів, що зумовлено інтенсивним веденням сільського господарства, урбанізацією, промисловим забрудненням та нераціональним природокористуванням. До основних деградаційних процесів належать водна та вітрова ерозія, дегуміфікація, ущільнення, засолення та забруднення важкими металами й пестицидами. Це призводить до зниження родючості ґрунтів, погіршення їх фізико-хімічних властивостей і втрати екосистемних функцій.

Реабілітація ґрунтів передбачає відновлення їхніх продуктивних та екологічних функцій шляхом застосування комплексу взаємопов'язаних заходів. Одним із ключових напрямів є агротехнічні технології, які містять впровадження сівозмін, мінімальний або нульовий обробіток ґрунту (no-till), мульчування, сидерацію та внесення органічних добрив. Ці заходи сприяють відновленню гумусового стану, поліпшенню структури ґрунту та зниженню розвитку ерозійних процесів.

Важливу роль відіграють біологічні методи відновлення, зокрема використання мікробіологічних препаратів, що активізують ґрунтову біоту, підвищують доступність поживних речовин і сприяють детоксикації забруднювачів [1]. Особливе місце займає фітореMediaція — застосування рослин для вилучення, стабілізації або розкладання токсичних речовин у ґрунті. Такі

культури як гірчиця, соняшник, люпин здатні акумулювати важкі метали або поліпшувати агрохімічні властивості ґрунтів.

Інженерно-технічні заходи включають рекультивацію порушених земель, створення протиерозійних споруд, терасування схилів, дренажні системи та хімічну меліорацію (вапнування кислих ґрунтів, гіпсування солонців). У випадку сильного техногенного забруднення застосовуються технології локалізації та ізоляції забруднювачів.

Сучасні підходи до відновлення ґрунтів базуються на принципах сталого розвитку та інтегрованого управління природними ресурсами. Важливим є поєднання традиційних і інноваційних технологій, адаптованих до регіональних умов, зокрема для територій, де значну роль відіграє аграрне навантаження.

Отже, ефективна реабілітація ґрунтів можлива лише за умов комплексного підходу, що враховує тип деградації, рівень антропогенного впливу та екологічні особливості території. Впровадження сучасних технологій відновлення сприятиме підвищенню родючості ґрунтів, забезпеченню продовольчої безпеки та збереженню довкілля.

Література

1. Крутякова В. І. (2020). Біометод - основа сталого розвитку вітчизняного землеробства. *Вісник аграрної науки*. № 9 (810), 5—14. URL: https://agrovistnyk.com/pdf/ua_2020_09_01.pdf

УДК 631.618:614.876(477.19)

ПОКАЗНИК РАДІОЕКОЛОГІЧНОЇ КРИТИЧНОСТІ АГРОЛАНДШАФТІВ ЯК ОСНОВА КЛАСИФІКАЦІЇ ЕКОСИСТЕМ, КАРТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Л. А. Райчук, к.с.-г.н., старш. дослідник

Інститут агроекології і природокористування НААН

E-mail: edelvice@ukr.net

Ключовою науковою проблемою управління радіоактивно забрудненими агроландшафтами Полісся у віддалений поставарійний період є не стільки фіксація щільності забруднення ґрунту, скільки оцінка реального ризику надходження радіонуклідів до людини через ланцюг «ґрунт — рослина — продукція — людина». Для вирішення цього завдання в Інституті агроекології і природокористування НААН розроблено концепцію радіоекологічної критичності агроландшафту — інтегральної характеристики, що враховує тип екосистеми, ґрунтовий покрив, характер використання угідь та рівень забруднення.

На основі цієї концепції удосконалено класифікацію агроекосистем Полісся за рівнем критичності у порядку спадання: 1) перезволожені луки та пасовища на

органогенних ґрунтах; 2) лісові екосистеми; 3) агроекосистеми на мінеральних ґрунтах з підвищеною кислотністю; 4) поліпшені сіножаті та пасовища; 5) агроекосистеми на мінеральних ґрунтах, що регулярно обробляються, з проведенням протирадіаційних заходів. Кількісним підґрунтям класифікації є суттєва диференціація коефіцієнтів переходу ^{137}Cs : на торфово-болотному ґрунті вони у 7—15 разів вищі, ніж на дерново-підзолистому, у 10—20 разів, ніж на сірому лісовому і в 15—30 разів, ніж на чорноземі. Для ^{90}Sr градієнт між дерново-підзолистим ґрунтом та чорноземом становить близько 10 разів. Отже, визначальними чинниками радіоекологічної небезпеки для конкретної ділянки є не щільність забруднення сама по собі, а тип ґрунту і тип екосистеми.

Наступним кроком стала просторова операціоналізація цієї концепції — розроблення методу радіоекологічно-ландшафтного картування, в основі якого лежить той самий показник критичності, представлений як зважена сума внесків тематичних ГІС-шарів (рівень забруднення, тип ґрунту, тип угідь, характер землекористування, доза опромінення як інтегральний показник). Реалізацію здійснено у середовищі QGIS з використанням загальнодоступних даних: OpenStreetMap, SRTM, Copernicus Global Land Service, публічна кадастрова карта України тощо. Метод верифіковано на прикладі с. Розсохівське Житомирської області. Перевагами підходу є відтворюваність, доступність вхідних даних та орієнтованість на застосування поза межами вузькоспеціалізованих установ та організацій радіоекологічного спрямування.

Картування безпосередньо слугує основою для диференційованого землекористування. Розроблено оптимізовану систему, що охоплює 6 груп угідь і ґрунтового покриття, 4 рівні радіоактивного забруднення, 10 варіантів землекористування та 5 сценаріїв агровиробничої діяльності. Система враховує здатність сільськогосподарських культур до накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr та їхні вимоги до умов середовища, дозволяючи обирати структуру посівних площ і сівозміни для отримання нормативно чистої продукції в межах обраного сценарію.

Отже, запропонований підхід утворює цілісну методологічну послідовність: від концептуального обґрунтування показника критичності — через його кількісне прив'язання до типів ґрунтів і екосистем — до просторового картування і практичних рекомендацій з диференційованого землекористування. Це дозволяє перейти від формального зонування за щільністю забруднення до функціонально обґрунтованого управління агроландшафтами радіоактивно забруднених територій Полісся.

**МОНІТОРИНГ РАДІОНУКЛІДІВ У ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ
ПРИДНІПРОВ'Я ЯК ЕЛЕМЕНТ БІОБЕЗПЕКИ**

*В. О. Сапронова, к.с.-г.н., доцент, Р. О. Новицький, д.б.н., професор
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
E-mail: sapronova.v.o@dsau.dp.ua*

Моніторинг водних екосистем Придніпров'я є критично важливим елементом національної біобезпеки. Особливість регіону полягає у поєднанні техногенного навантаження від важкої промисловості, радіоекологічних наслідків аварії на ЧАЕС, а натепер — ще й забрудненням довкілля в результаті воєнних дій. Будь-яке руйнування гідротехнічних споруд (дамб) може призвести до різкого викиду накопичених у мулах токсикантів нижче за течією. Процес поширюється на донні відклади, прибережні ґрунти, зависі та гідробіонти, що накопичують токсичні речовини в своїх органах та тканинах.

Метою наших досліджень було визначення вмісту природних (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) та штучних (^{137}Cs , ^{90}Sr) радіонуклідів у воді, донних відкладах та рибі водних екосистем Придніпров'я.

Для радіоекологічного аналізу відбирали проби води, донних відкладів та риби у рибницьких господарствах Дніпропетровської області. Підготовку проб до спектрометричного аналізу проводили за загальноприйнятими методиками. Визначення радіоактивності проб проводили за допомогою сцинтиляційного спектрометру СЕГ-001 «АКП-С» (діапазон вимірювання спектрометру — 50—3000 кеВ).

Розповсюдження радіонуклідів природного та штучного походження є актуальною проблемою для різних видів екосистем з огляду на різні шляхи надходження цих сполук. Визначено рівень накопичення радіонуклідів у водах Зеленодольського (ЗР), Криничанського (КР-1) та Криворізького рибгоспів (КР-2) до початку широкомасштабного вторгнення рф в Україну у 2022 році. Показник кількості ^{226}Ra у воді становив 3,8—7,4 Бк/кг, ^{232}Th — 2,95—44,4 Бк/кг, ^{40}K — від 74,2 до 82,4 Бк/кг.

Донні відклади значно накопичують кількість радіонуклідів, уміст ^{226}Ra в них становив 30,1—14,8 Бк/кг, ^{232}Th — 9,6—41,5 Бк/кг, ^{40}K — 134,8—182,2 Бк/кг.

Коефіцієнти накопичення природних радіонуклідів у воді та донних відкладах становили 1,4—5,0 за ^{226}Ra , 0,82—3,3 за ^{232}Th , 1,72—2,26 за ^{40}K .

Уміст штучних радіонуклідів у воді та донних відкладах відповідав їх біохімічним властивостям. У воді їх показник становив 0,13—1,8 Бк/кг за ^{137}Cs та 0,05—0,08 Бк/кг за ^{90}Sr . Відомо, що донні відклади акумулюють значну частку полютантів із води, тому визначені показники були значно вищі у воді, а саме:

5,6—10,4 Бк/кг за ^{137}Cs та 1,5—2,4 Бк/кг за ^{90}Sr . Коефіцієнти накопичення радіонуклідів штучного походження у воді та донних відкладах становили 3,3—80,0 за вмістом ^{137}Cs та 18,7—48,0 за вмістом ^{90}Sr .

Досліджено рівень накопичення природних радіонуклідів в організмі товстолобика та коропа. Рівень ^{40}K в організмі товстолобика нижчий, порівняно з ^{226}Ra та ^{232}Th , і становить 20,2—34,4 Бк/кг в усіх трьох рибгоспах. Однакова кількість ^{226}Ra та ^{232}Th відмічена у товстолобика з КР-1 та становить 47,0 Бк/кг. У коропа рівень вмісту природних радіонуклідів значно вищий у всіх трьох рибгоспах. Уміст ^{137}Cs визначено приблизно однаковим і у товстолобика, і у коропа, за винятком КР-2, де його рівень є значно меншим в організмі коропа. Вміст ^{90}Sr виявлено в однаковій кількості в обох видах риб. Концентрація радіонуклідів не перевищувала допустимих за нормативами величин.

Отримані дані свідчать, що рівень природних та штучних радіонуклідів не перевищує норм ГДК для води рибогосподарських підприємств. Уміст радіонуклідів у товарній рибі не перевищує встановлених гігієнічних нормативів (ДР-2006), а отже, можна вести ставкове рибництво без обмежень.

УДК 504.5:621.039.58:355.01(477)

ПОСТЧОРНОБИЛЬСЬКА СПАДЩИНА ТА ВОЄННІ РИЗИКИ: СУЧАСНА РАДІОЕКОЛОГІЧНА СИТУАЦІЯ В УКРАЇНІ

В. П. Сидорко, к.пед.н. Н. Я. Сидорко

Відокремлений структурний підрозділ

«Боярський фаховий коледж НУБіП України»

E-mail: g-sudorko@ukr.net; vsidorko@ukr.net

Радіоактивне забруднення є динамічною проблемою. На сучасному етапі (40 років після аварії на ЧАЕС) ситуація трансформувалася: завершився перший період напіврозпаду основних дозоутворюючих радіонуклідів — 30 років для цезію-137 та 29 років для стронцію-90 [1]. Проте виникають нові виклики, пов'язані з військовою агресією, ризиками вторинного забруднення через пожежі та деградацією систем радіоекологічного моніторингу на окупованих територіях [2].

Згідно з актуальними даними, спостерігається стабілізація радіоекологічної ситуації на більшій частині агроландшафтів [3]. Проте у 2022—2025 роках виявлено нові аспекти:

- механічна міграція: внаслідок бойових дій, руху важкої техніки та фортифікаційного будівництва відбувається переміщення верхнього, найбільш забрудненого шару ґрунту, що порушує природний процес «самоочищення» (вертикальної міграції радіонуклідів углиб);

- вторинне забруднення: масштабні лісові пожежі в зонах радіоактивного сліду призводять до винесення радіонуклідів з аерозолями та їх повторного осадження на сільськогосподарські угіддя сусідніх регіонів [2, 4];

- механізми міграції в системі «грунт — рослина»: агроекологічна оцінка сьогодні базується на аналізі біодоступних форм. Встановлено, що в умовах глобальної зміни клімату (аридизація, зниження рівня ґрунтових вод) змінюється рухливість радіонуклідів [5];

Набувають поширення новітні методи мінімізації ризиків: до класичних заходів додаються сучасні підходи, а саме:

- фіторе mediaція — використання технічних культур (наприклад, енергетична верба, міскантус) для очищення земель без залучення їх у харчовий ланцюг [6];

- прецизійне землеробство — диференційоване внесення калійних та фосфорних добрив на основі ГІС-карт забруднення, що дозволяє знизити КП на 30—50 % за суттєвої економії ресурсів;

- використання біовугілля (Biochar) — сучасні дослідження підтверджують, що внесення біовугілля ефективно сорбує радіонукліди в ґрунті, перетворюючи їх у недоступні для рослин форми [7].

Особливу тривогу викликає стан земель поблизу Запорізької АЕС та в зонах бойових дій. Оцінка радіоактивного стану ускладнена через мінне забруднення, що унеможливує відбір проб. Існує ризик забруднення агросфери нетиповими радіонуклідами у разі виникнення аварійних ситуацій на чинних АЕС.

Незважаючи на природний розпад радіонуклідів, значні площі сільськогосподарських угідь (особливо на торфовищах та піщаних ґрунтах) потребують продовження контрзаходів. Військова агресія створила нові ризики радіоекологічної дестабілізації, що вимагає оновлення стратегії радіоекологічного моніторингу та додавання до нього методів дистанційного зондування.

Пріоритетним напрямом є перехід від суцільної меліорації до точкового (smart) управління агроecosystemами на забруднених територіях для забезпечення виробництва продукції, що відповідає міжнародним стандартам безпеки.

Отже, сучасна радіоекологічна ситуація в Україні характеризується поєднанням довготривалих постчорнобильських процесів стабілізації та нових дестабілізуючих чинників, зумовлених воєнною агресією. Порушення ґрунтового покриву, зростання ризиків вторинного переносу радіонуклідів і обмеження доступу до моніторингових територій формують принципово нову реальність радіоекологічного контролю. У цих умовах особливої актуальності набуває інтеграція інноваційних підходів (дистанційного зондування, прецизійного землеробства та адаптивного управління агроecosystemами), що дозволить

своєчасно ідентифікувати загрози та забезпечити радіаційну безпеку аграрного виробництва навіть в умовах підвищеної воєнної небезпеки.

Література

1. Wikipedia. *Isotopes of Caesium*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Isotopes_of_caesium.
2. Національна академія наук України (2024). *Лісові пожежі та радіоактивне забруднення*. URL: <https://www.nas.gov.ua/news/chi-zabrudnili-atmosferu-radionuklidami-lisovi-pozhezhi-v-zoni-vidchuzhennya-36-veresnya-2024-roku>.
3. Bezhenar, R., Zheleznyak, M., Kanivets, V., Protsak, V., Gudkov, D., Kaglyan, A., ... & Nasvit, O. (2023). Modelling of the Fate of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in the Chornobyl Nuclear Power Plant Cooling Pond before and after the Water Level Drawdown. *Water*, 15(8), 1504. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15081504>.
4. Panasiuk, M., Buzynnyi, M., Kirieiev, S. (2025). Regarding the possible impact of forest fires on the radioactive pollution of groundwater in the chornobyl exclusion zone. *Sci Rep* 15, 13910 DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99095-5>
5. Herasymenko, V.Yu., Rozputnyi, O.I., Pertsovyi, I.V., Skyba, V.V., Tytariova, O.M., Saveko, M. E., ... & Oleshko V.P. (2021). Migration of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr radionuclides in the rural area of the Central Forest Steppe of Ukraine after the Chernobyl accident. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (2), 13-16, DOI: https://doi.org/10.15421/2021_70
6. Борецька, І. М., Джура, Н. М., & Романюк, О. І. (2021). Фіторе mediaція техногенно забруднених ґрунтів за допомогою енергетичних культур. *Екологічні науки*. № 6. 62–69. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2021/6/11.pdf> .
7. Kordrostami, M., & Ghasemi-Soloklui, A.A. (2025). Innovative applications of biochar in nuclear remediation and catalysis. *Biochar* 7, 74 <https://doi.org/10.1007/s42773-025-00463-1>.

УДК 539.1

РАДІАЦІЙНЕ УРАЖЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Максим Стогнійчук, Алла Пушкар

Відокремлений структурний підрозділ

«Боярський фаховий коледж НУБіП України»

Проблема забруднення навколишнього природного середовища радіоактивними та небезпечними хімічними елементами є надзвичайно актуальною, оскільки шкідливе ураження безпосередньо впливає на здоров'я людей і стан екосистем. Контамінація виникає внаслідок потрапляння радіоактивних речовин у повітря, воду та ґрунт, що призводить до негативного впливу на живі організми та екосистеми загалом [1].

Проблема радіаційного ураження має особливу актуальність для України з урахуванням наслідків Чорнобильської катастрофи та сучасних екологічних загроз. Забруднення довкілля проявилось у значному ураженні ґрунтів, водних

ресурсів та біоти. Радіонукліди осідали на поверхні землі, проникали в рослини, а через харчові ланцюги — в організми тварин і людей. Одним із символів екологічної катастрофи став так званий «Рудий ліс» [2].

Вплив радіації може бути як миттєвим, так і відкладеним, проявляючись через роки після опромінення. Тому дослідження й контроль рівня радіаційного та хімічного забруднення є важливими для забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку.

Проблема радіаційного та хімічного забруднення довкілля активно досліджується сучасними науковцями, які підкреслюють її довготривалий і комплексний вплив на біосферу та здоров'я людини. Горальський Л. П. з *співаєт*. зазначають, що навіть низькі дози радіації можуть спричинити накопичувальні ефекти, зокрема генетичні мутації та порушення функціонування екосистем [3]. Окрема увага приділяється поширенню важких металів і токсичних елементів у ґрунтах і водах, що призводить до зниження біорізноманіття та погіршення якості харчових ресурсів. Сучасні наукові напрацювання наголошують про необхідність впровадження інноваційних методів моніторингу та очищення довкілля для мінімізації негативних наслідків [4].

Сучасні підходи до мінімізації наслідків радіаційного ураження містять використання систем моніторингу, впровадження методів рекультивациі та очищення територій, а також розроблення ефективних стратегій поводження з радіоактивними відходами [5]. Особлива увага приділяється фіторемедіації — використанню рослин для вилучення радіонуклідів із ґрунту [4]. Також значну роль відіграє міжнародне співробітництво у сфері ядерної та радіаційної безпеки. Обмін досвідом, впровадження міжнародних стандартів і спільні наукові дослідження сприяють підвищенню ефективності заходів щодо захисту довкілля [6].

Отже, радіаційне ураження навколишнього природного середовища є складною багатофакторною проблемою, що потребує комплексного підходу до її вирішення. Поєднання наукових досліджень, сучасних технологій і ефективної екологічної політики є необхідною умовою для зменшення негативного впливу радіації та забезпечення сталого розвитку.

Література

1. Державна служба статистики України. (2025). Довкілля України 2024 : статистичний збірник. Київ : Держстат України.
2. Український інститут національної пам'яті. Що про Чорнобиль (не)приховувала радянська влада. URL: <https://uinp.gov.ua/informaciyni-materialy/statti/shcho-pro-chornobyl-nepryhovuvala-radyanska-vlada>
3. Горальський, Л. П., Дунаєвська, О.Ф., & Сокульський, І. М. (2026). Вплив радіаційного забруднення на морфологію органів імуногенезу: монографія. Житомир : Житомирський державний університет імені Івана Франка.

4. Мельник, Л. Г., & Шевчук, В. Я. (2025). Сучасні підходи до моніторингу довкілля в умовах техногенного навантаження. Київ : Вид-во КНЕУ.

5. «Екодія» (Ecoaction). Як радіація впливає на здоров'я. URL: <https://ecoaction.org.ua/iak-radiatsiia-vplyvaie.html>

6. International Atomic Energy Agency. (2024). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Vienna : IAEA.

УДК 631.95:633

**ЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ СЛІД У ҐРУНТАХ УКРАЇНИ:
ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ І МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВО-
ЧАСОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ
ЗА ДАНИМИ ЛАБОРАТОРНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ДЗЗ**

М. П. Чаплінський, С. М. Бондаренко, Л. П. Погоріла, К. А. Нечипорук

ДУ «Держґрунтохорона»

E-mail: ecolab23071964@ukr.net

Після Чорнобильської катастрофи радіонуклідне забруднення ґрунтів України характеризується вираженою просторовою неоднорідністю та часовою мінливістю, що ускладнює його оцінку традиційними методами. Ефективне дослідження таких процесів потребує інтеграції даних лабораторного моніторингу (вміст ^{137}Cs , ^{90}Sr) із матеріалами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в середовищі ГІС.

Геоінформаційний підхід забезпечує обробку різночасових вибірок, просторову інтерполяцію (kriging, IDW), побудову радіоекологічних карт та моделювання динаміки забруднення. Дані ДЗЗ використовуються для уточнення ландшафтних умов, структури землекористування та факторів міграції радіонуклідів, що підвищує точність просторових моделей. Це дозволяє здійснювати кількісну оцінку трансформації Чорнобильського сліду у ґрунтах та забезпечує наукову основу для системного моніторингу.

Станом на 2021 рік накопичено значний обсяг досліджень щодо моніторингу лісового покриву Чорнобильської зони відчуження. Встановлено, що після Чорнобильської катастрофи відбулися інтенсивні процеси природного лісовідновлення, що сприяли формуванню цінних осередків біорізноманіття. Водночас у рослинності окремих ділянок зберігаються ознаки радіаційно зумовлених змін [1].

24 лютого 2022 року під час російського вторгнення в Україну російські війська зайняли територію Чорнобильської зони відчуження, встановивши контроль над ЧАЕС і обмеживши діяльність її персоналу. Після відступу наприкінці березня зафіксовано масштабні лісові пожежі, що охопили понад 22 тис. га, створюючи високий ризик вторинного переміщення радіонуклідів цезію-137 та стронцію-90 із ґрунту та рослинності, а також деградації екосистемних функцій [2].

Ці події підкреслюють критичну важливість використання геоінформаційних систем та дистанційного зондування для оперативного моніторингу лісових масивів, оцінки змін ландшафтів та впливу надзвичайних ситуацій. Завдяки ГІС та ДЗЗ можливо швидке відстежування масштабів пожеж, відновлення рослинності та встановлення просторових закономірностей забруднення, що в комплексі забезпечує науково обґрунтоване управління природними ресурсами та оцінку екологічних ризиків.

За таких умов критично важливим є застосування ГІС та ДЗЗ для оперативного та системного моніторингу. Супутникові дані високої та середньої роздільної здатності, такі як Sentinel-2 (10—20 м), Landsat-8/9 (30 м) та PlanetScope (3—5 м), дозволяють оцінювати стан вегетації за індексами NDVI, EVI, NBR (Normalized Burn Ratio) і проводити динамічний аналіз після пожеж. Використання багатоспектральних та гіперспектральних каналів дає змогу виявляти зміни в структурі рослинності, оцінювати пошкодження хлорофілу, а також просторово інтегрувати дані про радіаційне забруднення, отримані з наземних гамма-детекторів.

Інтеграція супутникових даних і наземних радіаційних вимірювань у ГІС дозволяє:

1. Кількісно оцінювати масштаби пожеж та пошкодження рослинності за допомогою алгоритмів image differencing та change vector analysis (CVA);
2. Просторово-моделювати поширення Cs-137 і Sr-90 із урахуванням топографії, типу ґрунтів та вегетаційного покриву через методи kriging, inverse distance weighting (IDW) та spatial interpolation;
3. Відстежувати динаміку відновлення рослинності через часові ряди супутникових знімків та методи time-series analysis (BFAST, LandTrendr);
4. Оптимізувати управління природними ресурсами та протипожежні заходи на основі високоточних просторових даних, визначати охоронні зони та пріоритети для радіаційного моніторингу.

Отже, комплексне застосування ГІС, ДЗЗ і радіонуклідного моніторингу забезпечує:

- науково обґрунтовану оцінку наслідків надзвичайних ситуацій для лісових екосистем;
- просторове та часово-динамічне прогнозування поширення радіонуклідів Cs-137 та Sr-90;
- оптимізацію управлінських рішень з питань відновлення екосистем та охорони біорізноманіття;
- фундамент для подальших досліджень і впровадження сучасних технологій моніторингу в умовах техногенних та військових ризиків.

Впровадження таких технологій дозволяє забезпечити інтегрований підхід до управління територіями з радіоактивним забрудненням, підвищити ефективність протипожежних заходів та створити наукову базу для довгострокового відновлення екосистем Чорнобильської зони.

Література

1. Купрійчук, Є. (2021). Оцінка наслідків пожеж на південному заході Чорнобильського радіаційно-екологічного заповідника. У *Ліс, наука, молодь. ІХ Всеукр. наук.-практ. конф.* (с. 122—123). Житомир: Поліський національний університет.

2. Зібцев, С. В., Лакида, П. І., & Яворовський, П. П. (2017). Комплексний моніторинг лісових насаджень в зонах радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС: монографія. Київ : Наукова столиця.