

ПРОТИРАДІАЦІЙНИЙ ЗАХИСТ АГРОЦЕНОЗІВ ЯК ОСНОВНИЙ ШЛЯХ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НАСЕЛЕННЯ НА ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ ТЕРИТОРІЯХ

Населення, що мешкає на забруднених радіонуклідами територіях, до 90-95 % дози опромінення іонізуючою радіацією одержує за рахунок інкорпорованих радіонуклідів, що надходять в організм з продуктами харчування. Саме тому застосування певних прийомів у рослинництві, що мінімізують перехід радіонуклідів з ґрунту в рослини, в т. ч. у корми продуктивних тварин і, відповідно, в продукцію тваринництва, слід вважати основними шляхами захисту людини від опромінення.

Ключові слова: аварія на Чорнобильській АЕС, радіонукліди, протирадіаційний захист, радіаційна безпека людини.

Население, проживающее на загрязненных радионуклидами территориях, до 90-95 % дозы облучения ионизирующей радиацией получает за счет инкорпорированных радионуклидов, которые поступают в организм с продуктами питания. Именно поэтому применение определенных приемов в растениеводстве, которые минимизируют переход радионуклидов из почвы в растения, в т. ч. в корма продуктивных животных и, соответственно, в продукцию животноводства, следует считать основным путем защиты человека от облучения.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, радионуклиды, противорадиационная защита, радиационная безопасность человека.

The population resided at radioactive contaminated territories is getting up to 90-95 % of irradiation dose due to incorporated radionuclides which uptake to organism with foodstuffs. Therefore, the use of special methods in crop production for minimizing the radionuclides transfers from soil to plants, including the forage crops, and from fodder to animal production is considered the main approach in radiation protection.

Key words: accident at Chernobyl NPP, radionuclides, radiation protection, radiation safety of human.

У теперішній час через більш як два десятиліття після аварії на Чорнобильській АЕС мільйонні контингенти населення, що опинилися на забруднених довгоживучими штучними радіонуклідами територіях, до 90-95 % дози опромінення іонізуючою радіацією одержують за рахунок внутрішнього опромінення радіонуклідів, які надходять в організм з продуктами харчування [3]. В цих умовах основним прийомом протирадіаційного захисту людини слід вважати мінімізацію кількості радіонуклідів у раціоні. З одного боку це досягається за рахунок

виробництва продукції рослинництва та тваринництва і, відповідно, продуктів харчування з використанням технологій, котрі дозволяють знизити в них вміст радіонуклідів, а з іншої – за рахунок застосування речовин, які обмежують (блокують) перехід радіонуклідів в організм [1, 5]. Натепер перше місце у стратегії протирадіаційного захисту відводиться упередженню (мінімізації) надходження в організм радіонуклідів – радіоблокуванню.

Серед речовин, що блокують перехід радіонуклідів в живі організми, можна виділити три

основні групи: антагоністи-конкуренти радіонуклідів, сорбенти радіонуклідів (або ентеросорбенти) і комплексоутворюючі речовини, які утворюють з радіонуклідами важкорозчинні сполуки комплексолати [10].

Блокування радіонуклідів може бути достатньо ефективним не тільки на етапі «продукти харчування – людина», але й на значно ранішніх ланках трофічного ланцюга: «грунт – сільськогосподарські рослини», «сільськогосподарські рослини (корми) – продуктивні тварини», «продукція рослинництва і тваринництва – продукти харчування людини».

На етапі «грунт – рослина» до радіоблокаторів першої групи слід віднести вапнування та гіпсування ґрунтів, а також внесення калійних добрив; другої – внесення фосфорних добрив і третьої – внесення цеолітів, монтморилонітів, бентонітів, а також деяких інших природних чи спеціально підготовлених сорбуючих матеріалів.

Основним компонентом вапна і гіпсу є кальцій – хімічний аналог стронцію. Тому внаслідок антагонізму між ними надходження в рослини ^{90}Sr зменшується. Вапнування застосовується, звичайно, на підзолистих, дерново-підзолистих та деяких болотних і торфових, як правило, кислих ґрунтах. У кислому середовищі рухомість іонів, в тому числі й радіонуклідів, підвищена, тому доведення реакції до нейтральної сприяє зменшенню переходу в рослини багатьох іонів, у тому числі й радіоактивних. Але надходження, як правило, ^{90}Sr зменшується у більшому ступені.

За даними різних авторів, одержаними за роки після аварії на Чорнобильській АЕС, внесення вапна чи вапняних матеріалів (вапняки, доломіт, мергель, дефекаційне багно) у кислий дерново-підзолистий ґрунт знижувало вміст ^{90}Sr в зерні злаків та зернобобових культур в 2-4 рази, в бульбах картоплі – в 5-10, в овочах – у 4-6, сінні бобових трав – у 6-8 разів. Для ^{137}Cs ці величини дещо менші [9].

Добрим вапняним матеріалом є металургійні, або доменні, шлаки. Деякими дослідниками встановлено більш висока ефективність останніх порівняно з вапном. Це пов'язано з тим, що шлаки значно збільшують засвоєння рослинами кальцію (можливо, за рахунок великої кількості різних мікроелементів), внаслідок чого співвідношення ^{90}Sr до кальцію в рослинах різко зменшується. Так, якщо абсолютне нагромадження ^{90}Sr на одиницю маси зерна під впливом шлаків знижується приблизно в 2-3 рази, то накопичення його на 1 г кальцію зменшується майже у 5 разів. При дії ж вапна останній показник знижується усього в 3 рази. Таким чином, шлаки не тільки зменшують абсолютне нагромадження радіонуклідів в урожаї, але й значно знижують їх співвідношення до хімічних аналогів. Це особливо важливе для ^{90}Sr , так як від співвідношення його до кальцію в рослинах залежить перехід в наступні ланки трофічних ланцюжків, тобто в організм тварин і людини.

Зрозуміло, що внесення вапна та вапняних матеріалів можливе лише на кислих ґрунтах. Що стосується лужних ґрунтів, то збагачення їх на кальцій може проводитися за рахунок гіпсування. На нейтральних ґрунтах можна вносити збалансовані кількості вапняних матеріалів та гіпсу.

Хімічний аналог кальцію і стронцію магній також може вступати у конкурентні взаємовідносини зі стронцієм і зменшувати його накопичення в рослинах. Його менша ефективність щодо блокування цього процесу зумовлена більшою віддаленістю від стронцію у періодичній системі елементів, тобто більшою різницею у фізико-хімічних властивостях. Саме тому на тлі забезпечення ґрунту кальцієм дія магнію може не проявитися.

Аналогічні антагоністичні взаємодії відбуваються між цезієм і калієм. Надходження ^{137}Cs у рослини та нагромадження його в урожаї у значній мірі визначається вмістом в ґрунті і в самих рослинах його хімічного аналогу – калію. З підвищенням кількості калію в ґрунті зменшується надходження ^{137}Cs в рослини. Тому внесення калійних добрив у підвищених кількостях, особливо під рослини калієфіли, є одним з головних засобів зменшення вмісту цього радіонукліду в продукції рослинництва.

Досвід вивчення впливу калійних добрив на надходження ^{137}Cs в сільськогосподарські рослини величезний. Він однозначно свідчить про те, що їх внесення на бідних на калій ґрунтах завжди приводить до суттєвого зменшення вмісту цього радіонукліду в урожаї: в овочах і картоплі – в 4-8 разів, в зерні злаків і зернобобових – в 3-6 разів, в кормових травах, соломі злаків, льону – в 3-7 разів [7].

Досить суттєво знижує надходження ^{137}Cs як через корені, так і через листя некоренева підживлення рослин калієм.

В цілому накопичення ^{137}Cs рослинами обернено пропорційне вмісту в ґрунті обмінного калію. Але зниження рівнів його вмісту в рослинах залежно від дози калію носить гіперболічний характер, тобто ефективність калійного живлення у міру підвищення доз знижується. Проте збільшення кількості калію в два і три рази порівняно з загальною прийнятими нормами дозволяє надійно зменшувати надходження радіонуклідів в 3-6 разів. Реально дози калію при цьому збільшуються до 180-240 кг/га. Але доведено, що внесення калійних добрив на ґрунтах з його дефіцитом здатне зменшити кількість ^{137}Cs в рослинах більш як у 10 разів. У той же час ефективність прийому дуже низька на забезпечених на калій ґрунтах. Вони показують також доцільність збільшення норм добрив до певної межі, коли подальше їх зростання вже втрачає сенс.

Підсилення калійного живлення рослин зменшує і надходження ^{90}Sr . Особливо виразно це проявляється також на підзолистих та дерново-підзолистих ґрунтах. Так, додавання калійних добрив на слабо окультурених дерново-підзолистих ґрунтах легкого механічного складу знижує

нагромадження ^{90}Sr в урожаї зернових, картоплі й овочевих рослинах в 2-3 рази. Зменшення надходження цього радіонукліду під впливом калійних добрив звичайно пояснюється відомим антагонізмом між калієм, з одного боку, і кальцієм та ^{90}Sr з іншого. Тому під впливом калію знижується і нагромадження в рослинах кальцію, що іноді може мати і негативний ефект.

Солі фосфорних кислот здатні утворювати зі стронцієм слабо розчинні чи навіть практично нерозчинні комплексні сполуки типу вторинних і третинних фосфатів. На підставі цього цілком слушно було припущено, що внесення в ґрунт фосфорних добрив повинно зменшувати перехід ^{90}Sr в рослини. Дійсно, це так. Досить великий масив науково-дослідницьких і виробничих даних свідчить про те, що внесення фосфорних добрив в будь-яких формах на будь-яких відмінностях зменшує нагромадження ^{90}Sr практично всіма видами рослин в 2-6 разів. Варте уваги те, що кислі ґрунти можуть бути нейтралізовані не тільки вапняковими матеріалами, основу яких складає вуглекислий кальцій, але й іншими вуглекислими солями, зокрема, вуглекислим калієм. Внесення його в кислі ґрунти знижує надходження радіонуклідів в рослини так само, як і вапно. Більш того, на слабкокислих ґрунтах, на яких вапно практично не впливає на розміри переходу ^{90}Sr з ґрунту в рослини, вуглекислий калій помітно зменшує його нагромадження. Водночас під його впливом, аналогічно до хлористих, азотних та інших солей калійних добрив, у рослинах зменшується і вміст ^{137}Cs . Найбільш ефективними є добрива, які містять фосфати кальцію та калію. Так внесення в ґрунт фосфатів калію у декілька разів знижує в рослинах вміст як ^{90}Sr , так і ^{137}Cs . Інші фосфати – амонію, натрію, магнію – впливають, головним чином, тільки на кількість ^{90}Sr [8].

У багатьох разів зменшує надходження у рослини різних радіонуклідів, в тому числі ^{239}Pu і ^{241}Am , внесення в ґрунт амінополікарбонівих кислот та їх похідних. Ці речовини утворюють з радіонуклідами комплексні водорозчинні сполуки, сприяючи їх швидкому вимиванню. Однак цей спосіб належить до дуже дорогих заходів і поки що не одержав розповсюдження.

У якості адсорбентів найбільше розповсюдження одержали деякі природні мінерали, які мають високу сорбційну здатність щодо радіонуклідів, зокрема, цеоліти, поклади яких виявлені у Карпатах. Міцно і у великих кількостях сорбують ^{90}Sr і ^{137}Cs ілліти та вермикуліти, дещо слабкіше – монтморилоніти та каолініти. Ефективними сорбентами вважаються такі мінерали, як флігопіти, гідрофлогопіти, глауконіти, асаканіти, гумбрини, біотити, бентоніти. Незважаючи на відносно дешевизну, їх використання пов'язане з великими витратами, так як виявляється доцільним тільки за дуже високих норм їх внесення у ґрунт – до 0,5-1 % до об'єму орного шару. А це – 10-12 тонн мілко розмеленого мінералу на один гектар поля. За такого разового внесення вдається знизити надходження радіонуклідів у рослини в

1,5-3 рази протягом декількох наступних років. Іноді ці мінерали відносять до меліорантів, так як їх унесення суттєво покращує механічні властивості ґрунту, створюючи більш сприятливі умови для росту і розвитку рослин.

Добре виражену сорбційну спроможність має так зване «активне вугілля» – різновид шлаків, що утворюється при спалюванні кам'яного вугілля. Його внесення на дерново-підзолистих ґрунтах у кількостях удвічі менших, ніж природних мінералів, дозволяє досягти такого ж ефекту.

Здійснення цих радіозахисних заходів дозволяє врешті-решт зменшити надходження радіонуклідів у продуктивні сільськогосподарські рослини, а, відповідно, зменшити дозу опромінення не тільки рослин, але й тварин і людини, що їх споживає, у декілька разів.

На етапі «рослини (корми) – сільськогосподарські тварини» також не слід нехтувати кальцій-, калій- та фосфоровмісними препаратами. Кальцій в організмі хребетних тварин відіграє особливу роль, складаючи основу скелета, а у ссавців – ще й головний мінеральний компонент молока. При дефіциті в організмі кальцію його місце можуть посідати хімічні аналоги – в першу чергу, елементи другої групи періодичної системи, серед котрих знаходиться і стронцій. Саме тому порушення кальцієвого живлення може призводити до збільшення накопичення в організмі тварин і людини ^{90}Sr . У той же час збагачення раціону кормами, які містять кальцій, наприклад, бобовими травами, додавання мінерального підкорму у вигляді солей кальцію, особливо фосфорнокислих, являє собою дешевий і доступний спосіб ^{90}Sr із шлунково-кишкового тракту до продукції тваринництва. Так, включення кальцію до раціону корів знижує кількість ^{90}Sr в молоці у 8-12 разів [6].

Як не дивно, в літературі є дуже мало даних про вплив калійного живлення на нагромадження ^{137}Cs в організмі тварин. Незважаючи на це, але враховуючи виключно важливе значення калію у функціональній діяльності багатьох фізіолого-біохімічних систем усіх організмів, зокрема клітинних мембран, вуглецевого обміну, синтезу багатьох ферментів, гормонів, можна стверджувати, що збагачення раціону за рахунок кормів, які містять підвищену кількість калію, буде сприяти зниженню в них накопичення ^{137}Cs . Це, в першу чергу, кукурудзяний силос, картопля, кормові буряки.

Мало вивчений і вплив натрію на нагромадження ^{137}Cs , який також є хімічним аналогом цезію, хоча і добре відома його роль у багатьох фізіолого-біохімічних процесах. Враховуючи антагоністичні відносини в організмі між калієм і натрієм, можна не без підстав припустити, що на надходження ^{137}Cs впливають не тільки абсолютні їх кількості в організмі, а також співвідношення між ними.

Значна роль у зменшенні надходження радіонуклідів в організм сільськогосподарських тварин, а також у підвищенні їх стійкості до іонізуючих випромінювань, належить мікроеле-

ментам. Особливо це стосується регіонів Полісся, ґрунти яких і, відповідно, корми, бідні не тільки за вмістом основних макроелементів, але й більшості біологічно важливих мікроелементів, таких як йод, фтор, цинк, кобальт, марганець, мідь, селен та інших. Збагачення раціону тварин солями цих елементів може стати важливим заходом у системі ведення тваринництва на забруднених радіонуклідами територіях [4].

Застосування прийомів, спрямованих на зменшення надходження радіонуклідів у рослини, зокрема проведення вапнування луків і пасовищ, збільшення доз фосфорних добрив, призводить до зв'язування багатьох мікроелементів у ґрунті й зменшення їх кількості в рослинах, а, відповідно, і в раціоні тварин. Це може стати причиною ряду захворювань тварин, відомих під загальною назвою гіпомікроелементозів. Тому слід періодично на основі даних про вміст мікроелементів у кормах, воді, молоці, крові, м'ясі, уточнювати необхідні їх кількості у раціоні тварин.

Відомі речовини, які здатні знижувати перехід радіонуклідів з кормів до тканин тварин. До них належить велика група різних за хімічною будовою сполук, котрі при додаванні до раціону зв'язують радіонукліди у шлунково-кишковому тракті, зменшуючи їх всмоктування. Вони одержали назву ентеросорбентів, або просто сорбентів. Таку дію мають солі альгінових кислот – альгірати калію, кальцію, натрію, які виділяють з деяких видів бурих водоростей. Додавання альгінатів і навіть самих водоростей до раціону знижує відкладання ^{90}Sr у тканинах у 1,5-2 рази. Близький ефект мають пектинові речовини, які містяться у коренеплодах, особливо буряках, у тому числі й кормових, гарбузах, плодах фруктових порід.

Надзвичайно високою ефективністю щодо обмеження всмоктування ^{137}Cs у шлунково-кишковому тракті не тільки ссавців, але й птиці, відзначається фероцин – речовина, відома під назвою берлінської лазури, та його похідні – фероціаніди заліза, кобальту, нікелю. Маючи специфічну кристалічну структуру, фероцин вибірково зв'язує ізотопи цезію, утворюючи з ним нерозчинні комплексні сполуки, які не проникають через стінки шлунку і кишок, транзитом проходять усі відділи шлунково-кишкового тракту і виводяться з організму з продуктами обміну [2].

Фероцин уводять тваринам у вигляді порошку з кормом, різними наповнювачами, у складі кормосумішей, брикетів-лизунців. Широке застосування у скотарстві знайшли спеціальні великі

воскові пілолі з фероцином – болуси. Кожній корові на початку пасовищного періоду безпосередньо у рубець через рот за допомогою простого пристосування – болусоін'єктора – вводиться 2-3 болуси. При їх терті фероцин поступово вивільнюється, змішується з кормом, який зв'язує радіонуклід, не даючи йому всисатися у кров. Болуси утримуються у рубці 2-3 місяці, після чого вводяться нові.

При згодовуванні фероцину коровам у кількості від 1 до 20 г на добу зниження кількості ^{137}Cs у молоці спостерігається вже через 3-5 діб, а максимальний ефект досягається через два тижні. Максимальна кратність зниження радіонукліду в м'ясі відмічається через 30 діб. У цілому додавання фероцину до раціону дозволяє знизити перехід ^{137}Cs у молоко і м'ясо в 6-8 і більше разів.

Як ефективні ентеросорбенти використовуються і згадані цеоліти у вигляді простого розмеленого мінералу (кліноптилоліт) і модифікованого шляхом спеціальної обробки (хумоліт), котрі додаються до концентрованих кормів у кількостях до 10 %. У молоці це забезпечує зниження вмісту ^{137}Cs у 1,5-3 рази, у м'ясі різних тварин – у 1,5-9 разів.

Але одним з основних і найефективніших заходів, що сприяє зниженню переходу радіонуклідів в продукцію тваринництва, є поверхневе та докорінне покращення луків та пасовищ – кормової бази сільськогосподарських тварин, яке, крім згаданих агрохімічних заходів, включає деякі агротехнічні прийоми, котрі сприяють формуванню гарного травостою з мінімально можливим вмістом радіонуклідів.

Тут можна згадати і деякі організаційні заходи, такі як перепрофілювання галузі, переведення тварин перед забоем на «чисті» корми, зміна умов утримання, зміна раціону.

Елементарний розрахунок, який враховує внесок в усереднену дієту мешканця середньої смуги Східної Європи продуктів харчування рослинного і тваринного походження, свідчить, що наведені радіозахисні заходи дозволяють зменшити дозу внутрішнього опромінення, тобто практично дозу усього загального опромінення, у 1,5-4 рази (таблиця).

Зрештою, певні прийоми застосовуються на етапі «продукти харчування – людина». Тут вони не розглядаються, хоча мало чим відрізняються від етапу «корми – тварини». Втім, мають певні особливості, суть яких зводиться до того, що вводяться в організм, як правило, у вигляді фармакологічних засобів, харчових добавок, спеціальних препаратів.

Таблиця 1

Ефективність заходів у рослинництві й тваринництві щодо зниження дози опромінення людини

Заходи		Ефективність щодо зниження дози
Обмежувальні	Зменшення споживання молока, що виробляється у місцевих умовах	20-50 %
	Виключення споживання продукції лісу	0-50 %
Превентивні	Вапнування кислих ґрунтів	1,5-3 рази
	Внесення добрив	1,5-3 рази
	Покращення луків і пасовищ	2-4 рази
	Застосування ентеросорбентів, у т. ч. фероцину	1,5-4 рази
	Перевід тварин перед забоем на чисті корми (до двох місяців)	1,5-2 рази

Безперечно, у загальній стратегії протирадіаційного захисту і в теперішній час певна роль належить радіопротекторам. Але в умовах хронічного опромінення у малих дозах багатомільйонних мас людей не може йти мови про застосування спеціальних фармакологічних препаратів, а, скоріше, про раціональне харчування з дотриманням деяких рекомендацій і зосередженням уваги на певних продуктах.

Те ж саме стосується і терапевтичних засобів, зокрема прискорення виведення з організму інкорпорованих радіонуклідів. Відомо немало синтетичних фармакологічних препаратів, які можуть значно прискорювати цей процес: альгісорб, цинкацин, пентацин, тетацин та інші. Вони успішно застосовуються у клінічній практиці при надходженні в організм великих кількостей тих чи інших радіонуклідів. Проте у зв'язку з певною токсичністю вони непридатні для умов тривалого застосування.

Те ж стосується і ростових факторів, які прискорюють процеси післярадіаційного відновлення, детоксикації організму від шкідливих метаболітів, що можуть виникати в ураженому радіацією організмі внаслідок порушення певних процесів обміну речовин.

Таким чином, стратегія протирадіаційного захисту людини являє собою багатоетапний комплекс заходів, який включає блокування переходу радіонуклідів в організм на всіх етапах трофічного ланцюга, захист від зовнішнього і внутрішнього опромінення, прискорення виведення радіонуклідів з організму і активацію процесів післярадіаційного відновлення. Основна роль при цьому в умовах радіаційної ситуації, що склалася на забруднених радіонуклідами територіях, належить мінімізації їх надходження в організм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ведення сільськогосподарського виробництва на територіях, забруднених внаслідок Чорнобильської катастрофи, у віддалений період (Рекомендації). – К.: Атіка, 2007. – 196 с.
2. Вечтомова Ю.В., Лазарев М.М., Гудков І.М. Ефективність застосування фероціанідів у тваринництві для сорбції радіоактивного цезію // Досвід подолання наслідків Чорнобильської катастрофи у сільському і лісовому господарстві. – Житомир: ДАУ, 2006. – С. 173-179.
3. Двадцять років Чорнобильської катастрофи: погляд у майбутнє (Національна доповідь України). – К.: Атіка, 2006. – 224 с.
4. Гудков І.Н. Микроэлементы-металлы как блокаторы перехода радионуклидов из почвы в растения и из кормов в организм животных // Миграция тяжелых металлов и радионуклидов в звене почва – растение (корм, рацион) – животное – продукт животноводства – человек. – Великий Новгород: Федеральное агентство по образованию РФ, 2007. – С. 402-414.
5. Гудков І.М., Лазарев М.М. Особливості ведення сільського господарства на забруднених радіонуклідами територіях Лісостепу // Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства в Лісостепу України. Т. 1. – К.: Вид-во ТОВ «Алефа», 2003. – С. 747-775.
6. Корнеев Н.А., Сироткин А.Н. Основы радиозоологии сельскохозяйственных животных. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 208 с.
7. Перепелятников Г.П. Порівняльна оцінка ефективності контрозаходів, що застосовуються в сільськогосподарському виробництві на радіоактивно забруднених територіях // Науковий вісник НАУ. – 2001. – Вип. 45. – С. 13-20.
8. Пристер Б.С. Последствия аварии на Чернобыльской АЭС для сельского хозяйства Украины. – К.: Изд-во ЦПЭР в АПК, 1999. – 104 с.
9. Пристер Б.С., Гудков І.М., Тараріко Ю.О. Особливості ведення сільськогосподарського виробництва на територіях Полісся, забруднених радіонуклідами внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС / Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства Полісся України. Т. 2. – К.: Вид-во ТОВ «Алефа», 2004. – С. 662-722.
10. Gudkov I.N. Strategy of biological radiation protection of biota at the radionuclide contaminated territories // Radiation Risk Estimates in Normal and Emergency Situations. – Berlin – London – N.Y. – Dordrecht: Springer, 2006. – P. 101-108.

Рецензенти: Гродзинський Д.М., академік НАН України, д.б.н., професор;
Кутлахмедов Ю.О., д.б.н., професор, Інститут клітинної біології та генної інженерії НАН України

© Гудков І.М., 2009

Стаття надійшла 05.04.2009 р.