

УДК 631.67.634.538

© 2021

## ВИРОЩУВАННЯ НОРМАТИВНО ЧИСТОЇ ЯГІДНОЇ ПРОДУКЦІЇ АГРУСУ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ ПОЛІССЯ

Г.В. Мельничук<sup>1</sup>, А.О. Мельничук<sup>2</sup>

<sup>2</sup>кандидат сільськогосподарських наук  
Інститут сільського господарства Полісся НААН  
Київське шосе, 131, м. Житомир, 10007, Україна  
e-mail: <sup>2</sup>andriy\_melnychuk@ukr.net  
ORCID: <sup>2</sup>0000-0002-7879-3691

Надійшла 22.09.2021

**Мета.** Експериментально визначити можливість отримання нормативно чистої ягідної продукції агрусу на осушуваних радіоактивно забруднених ґрунтах Полісся. **Методи.** Лізиметричний – проведення стаціонарного досліді, лабораторний – визначення показників радіологічного забруднення. **Результати.** Довготривалими дослідженнями впродовж 2016 – 2020 рр. у стаціонарному лізиметричному досліді доведено, що в рослин агрусу на високому радіоактивному фоні (8 Кі/км<sup>2</sup>) наявна диференціація питомої активності за складовими частинами рослин. Вона поступово зменшується від коріння до генеративних органів (ягід). Найбільше забруднена коренева система агрусу в контрольному варіанті (без унесення добрив). Активність <sup>137</sup>Cs у корінні становила 301 Бк/кг, пагонах – 71, листі – 188, ягодах – 28 Бк/кг. Установлено, що зміна вологості в кореневмісному шарі ґрунту істотно впливає на рівень забруднення продукції радіонуклідами. **Висновки.** Вирощування агрусу на осушуваних дерново-підзолистих ґрунтах Полісся зі щільністю забруднення території <sup>137</sup>Cs ≥ 8 Кі/км<sup>2</sup> при запровадженні комплексної системи агрохімічних заходів дає змогу отримати продукцію, у якій не перевищені показники гігієнічних нормативів ГН 6.6.1.1-130-2006. Із застосуванням збалансованої норми мінеральних добрив N<sub>40</sub>P<sub>90</sub>K<sub>150</sub> під агрус на провапнованому фоні питома активність <sup>137</sup>Cs у корінні зменшувалася на 37,2%, молодому прирості – 31,0, листі – на 39,4%. Забрудненість ягід <sup>137</sup>Cs в удобреному варіанті була нижчою в 2,6 рази, ніж на контролі (без унесення добрив). Отримана продукція відповідає вимогам ДР 2006 (70 Бк/кг).

**Ключові слова:** осушуваний дерново-підзолистий ґрунт, коефіцієнти переходу та накопичення <sup>137</sup>Cs, питома активність, радіонукліди, система удобрення.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-10>

У післяаварійні роки (1986–2021 рр.) за рахунок фізичного розпаду радіонуклідів <sup>137</sup>Cs та <sup>90</sup>Sr їх питома активність у ґрунті знизилася приблизно на 45–52%. Тому виникла потреба в перегляді встановлених зон забруднення. Площа земель із рівнем забруд-

нення ґрунту понад 555 кБк/м<sup>2</sup> зменшилася в 1,5 рази, рівнем забруднення 185–555 кБк/м<sup>2</sup> — майже вдвічі. При цьому території, де передбачається відродити виробництво радіологічно безпечної сільськогосподарської продукції, залишаються значними.

Так, згідно зі Стратегією розвитку сільськогосподарського виробництва в Україні на період до 2025 р. площа земель зі щільністю забруднення ґрунту  $^{137}\text{Cs} > 555 \text{ кБк/м}^2$  ( $15 \text{ Ки/км}^2$ ) становить понад 1 тис. км<sup>2</sup>, від 185 до 555 кБк/м<sup>2</sup> ( $5\text{--}15 \text{ Ки/км}^2$ ) — майже 2 тис. км<sup>2</sup>.

З урахуванням таких змін радіологічної ситуації на законодавчому рівні ухвалено закони, законодавчі акти, які змінили статус зони посиленого радіологічного контролю [1] і дали змогу перевести в сільськогосподарське користування землі, прилеглі до зони відчуження, [2] та забезпечили повернення земель територіальним громадам, що отримали чи мають отримати раніше виведені землі з аграрного сектору через їх радіаційне забруднення [3]. Обов'язковою умовою радіаційно-екологічних підходів до раціонального використання сільськогосподарських угідь, забруднених радіонуклідами, є радіаційно-екологічна критичність вирощеної товарної сільськогосподарської продукції [4]. Вона гарантовано не має перевищувати граничні показники гігієнічного нормативу ГН 6.6.1.1-130-2006. Згідно з цим напрями використання забруднених земель умовно можна розділити на виробництво сільськогосподарської продукції, яку використовують безпосередньо для харчових потреб, корм для тварин, і виробництво сільськогосподарської сировини для подальшої переробки [5].

Зона Полісся за своїми ґрунтово-кліматичними умовами у світлі сучасних кліматичних змін цілком придатна для вирощування плодово-ягідних культур. Проблемним залишається рівень забруднення продукції радіонуклідами.

Особливості накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у різних вегетативних і генеративних органах плодово-ягідних культур майже не вивчені. У наукових виданнях є свідчення про різні рівні радіаційного забруднення кореневих систем, стеблових утворень і плодів суниць. Так, за питомої активності ґрунту 998 Бк/кг коренева система суниць акумулювала 319 Бк/кг, багаторічні вузлуваті ріжки — 231, листя — 50, ягоди — 87 Бк/кг. Інтенсивність міграції нуклідів із ґрунту в плоди різних сортів порічок становила 188 Бк/кг при забрудненні ґрунту 198 Бк/кг

і коефіцієнта переходу (КП) 0,1, тоді як радіоактивність свіжих ягід не перевищувала 15 Бк/кг, а КП — 0,0086. Радіологічний контроль продукції після переробки плодів (сік і варення суниць, сік вишні й порічок, компот зі сливи, сушіння плодів яблуні) показав, що вона майже не забруднена  $^{137}\text{Cs}$  [6].

Відзначено також, що результатом метаболічних процесів у рослинах може бути зменшення вмісту радіонуклідів у надземній частині рослин за рахунок транспорту їх у кореневу систему [7]. Рівні забруднення радіонуклідами  $^{137}\text{Cs}$  різних органів сортів яблуні різнилися в 3,5–7,1 раза. Різниця між забрудненням радіонуклідами однорічних гілок і плодоносних утворень (плодушок, плодих) становила 1,8 раза. Особливістю для всіх дерев є вищий рівень забруднення  $^{137}\text{Cs}$  листя порівняно з плодами (у 1,2–2,6 раза), причому зі збільшенням рівня забруднення ґрунту втричі ця різниця також збільшувалася. Коефіцієнт переходу  $^{137}\text{Cs}$  у плоди різних сортів яблуні за майже однакового рівня забруднення ґрунту змінювався в межах 1,7–2,4 раза. При зміні забруднення ґрунту втричі показник КП  $^{137}\text{Cs}$  у плодах варіював у 10,8 раза. Є залежність щодо розподілу радіоцезію між деревиною та корою з лубом у штамбах і основних гілках першого порядку галуження. Питома радіоактивність  $^{137}\text{Cs}$  у деревині в 2,5–15,7 раза менша, ніж у корі з лубом. Концентрація  $^{137}\text{Cs}$  у коренях не залежала від наявності чи відсутності його в кореневмісному шарі ґрунту [8].

Певною мірою висвітлено співвідношення питомої радіоактивності  $^{137}\text{Cs}$  у плодах, листках і пагонах абрикоса [9]. Знання джерел, швидкості та інтенсивності міграції радіонуклідів за формування дози є основою стратегії радіаційного захисту і застосування контрзаходів у сільськогосподарському виробництві, зокрема в плідництві та ягідництві [10].

Досліджень із ягідною культурою аґрусом на радіоактивно забруднених осушуваних дерново-підзолистих ґрунтах за патентним пошуком не виявлено. Тому пошук напрямів отримання нормативно чистої продукції аґрусу за оптимізації агрохімічних контрзаходів є необхідним і актуальним.

В Україні аґрус належить до переліку нішевих культур. З урахуванням харчової цінності, лікувально-дієтичних якостей ягід, універсального використання аґрус має перспективи для вирощування в приватних і фермерських господарствах. Він невибагливий до ґрунтового-кліматичних умов вирощування та має велике різноманіття сортів із різними термінами досягання, що дає можливість споживати зрілі ягоди в свіжому вигляді до 30–40 днів. За даними ФАО за 2016 рік, аґрус вирощують у 18-ти країнах світу, серед яких — Німеччина, Польща, Чехія, Угорщина, Австрія, Велика Британія, Норвегія, країни Прибалтики, Росія, Україна та ін. Першість у товарному виробництві ягід належить Німеччині, Росії та Польщі. За обсягами виробництва ягід аґрусу Україна займає 4-е місце в Європі, що становить 5% від світового валового виробництва.

**Мета досліджень** — експериментально визначити можливість отримання нормативно чистої ягідної продукції аґрусу на осушуваних радіоактивно забруднених дерново-підзолистих ґрунтах Полісся.

**Матеріали та методи досліджень.** Дослідження з ягідною культурою аґрусом (*Grossularia Mill*) сорту Сварог проводили впродовж 2016–2020 рр. у тривалому стаціонарному лізиметричному досліді відділу землеробства і меліорації Інституту сільськогосподарства Полісся НААН. Ґрунт у лізиметрах — дерново-середньопідзолистий супіщаний на морені. Глибина орного шару — 20–22 см з умістом гумусу 0,97%, рН — 5,6, гідролітична кислотність — 3,2 мг-екв./100 г ґрунту, уміст загального азоту — 0,051%, рухомого фосфору й обмінного калію — відповідно 103,2 та 69,2 мг/кг ґрунту. Щільність забруднення ґрунту  $^{137}\text{Cs}$  у лізиметричних мікрополях — 8,6 Кі/км<sup>2</sup>. Уміст радіонуклідів у ґрунті, ягодах та органах аґрусу визначали на спектроаналізаторі енергій гамма-випромінення СЕГ-0,01 «АКП-С» згідно з методикою Укрґідромету.

Технологія обмеження накопичення радіонуклідів рослинами за допомогою агрохімічних та агротехнічних засобів ґрунтується на застосуванні підвищених доз основних мікроелементів, варіюванні їх співвідношень, використанні різних способів локалізації добрив. Застосування цієї технології

дає змогу знизити поширення радіонуклідів на забруднених землях залежно від каналу міграції та погодних умов у 1,5–6 разів [11].

Схемою досліду передбачено застосування мінеральних добрив під аґрус у нормі  $\text{N}_{40}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$  і проведення вапнування перед закладанням досліду нормою 3,5 т/га. Як добрива використовували аміачну селітру, амофос, хлористий калій, вапняковий матеріал Білокоровицького родовища Житомирської області.

**Результати досліджень.** Сьогодні ставить питання отримання нормативно чистої та якісної продукції ягідних культур в умовах радіоактивного забруднення території першої та другої зон, які освоюються аграріями та об'єднаними територіальними громадами. Проблема радіоекологічної безпеки в умовах зони Полісся, для якої типовими є дерново-підзолисті ґрунти, легкі за гранулометричним складом, із низьким умістом гумусу, кислою реакцією ґрунтового розчину, низькою абсорбційною здатністю, періодичним перезволоженням, що в комплексі сприяють високим міграції радіоактивних ізотопів і вірогідності проникнення радіонуклідів у ягідну продукцію, є дуже важливою.

Нині радіонукліди в ґрунтово-вбирному комплексі перебувають в обмінних і водорозчинних формах, входять до складу кристалічних решіток мінералів. Їх доступність рослинам залежить від гранулометричного складу ґрунту, реакції ґрунтового розчину, вмісту гумусу, суми ввібраних основ, системи удобрення та вологозабезпеченості впродовж вегетаційного періоду. Особливістю віддаленого періоду розвитку радіаційної ситуації є те, що включення радіонуклідів у трофічні ланцюги відбувається через кореневе їх надходження з ґрунту в рослини [4].

Рівень забруднення сільськогосподарської продукції залежить від питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  в ґрунті та його фізико-хімічних властивостей. Результати гама-спектрометричних досліджень зразків ґрунту з лізиметричних мікрополів засвідчили, що основна частка  $^{137}\text{Cs}$  (84,8%) міститься в кореневмісному 0–20 см шарі ґрунту (рисунок). Нижче 20 см мігрувало лише 15,2 % радіонуклідів. Основна частина (80%) кореневої системи

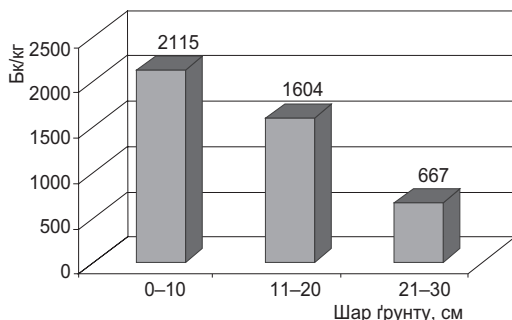
згідно з біологічними властивостями культури (добре розвинена мичкуватість, яка залягає в ґрунті на глибині 10–40 см і відходить у бік від куща на 50–60 см), поширюється в найбільш забруднених шарах дерново-підзолистого ґрунту, що підвищує вірогідність переходу радіонуклідів із ґрунту в рослини.

За результатами проведених досліджень встановлено, що зі зменшенням показників питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  в органах рослини аґрусу вони розмістилися так: коренева система, листя, молодий приріст, стигла ягода (табл. 1). У стиглих ягодах з унесенням збалансованої за елементами живлення норми мінерального добрива  $\text{N}_{40}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$  у середньому знизилася питома активність радіонуклідів у 2,6 раза, молодому прирості — на 31,0%, листі — 39,4%, кореневій системі — на 37,2 % порівняно з контролем (без унесення добрив).

Накопичення  $^{137}\text{Cs}$  рослинами контролюється генетичними системами, які відповідають за метаболізм калію [12]. При транспорті іонів через плазмолему  $\text{H}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{Rb}$   $^{137}\text{Cs}$  конкурує за один і той самий переносник. Ізотопи цезію з подібними властивостями калію надходять у рослини з ґрунту у великих кількостях [13].

Кількісна характеристика акумуляції радіонуклідів рослинами відображається у величинах КП, які дають можливість порівняти інтенсивність надходження ізотопів у різних радіоекологічних умовах і виявити видоспецифічність у їх поглинанні [14, 15].

Гама-спектрометричними дослідженнями підтверджено, що вегетативна частина рослини аґрусу інтенсивніше акумулює



**Середньозважені показники питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  в лізіметричних мікрополях на дерново-підзолистому ґрунті (пошарово), Бк/кг**

$^{137}\text{Cs}$ , ніж генеративні органи, про що свідчить різниця в КП. Найвищий коефіцієнт переходу  $^{137}\text{Cs}$  відзначено в кореневій системі (див. табл. 1). У контрольному варіанті (без унесення добрив) він становив 1,06. На другому місці за інтенсивністю надходження були молоді пагони з КП 1,0, на третьому — листя — 0,53. Найнижчий показник КП був у ягодах — 0,08. З унесенням добрив ( $\text{N}_{40}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ ) зменшувався перехід  $^{137}\text{Cs}$  у кореневу систему на 32%, листя — 26 %, у молодий приріст — у 4,3 раза, ягоди — в 4 рази.

Для характеристики перетворень і міграції радіонуклідів в екосистемах використовують коефіцієнт накопичення (КН). Він показує, у скільки разів більшою (чи меншою) може бути активність певного радіонукліда в елементах екосистеми порівняно з навколишнім середовищем. За рівнем накопичення  $^{137}\text{Cs}$  окремі частини рослини аґрусу в дослідженнях розміщено в такому

**1. Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  в частинах рослини аґрусу (Бк/кг), коефіцієнти переходу та накопичення (середнє 2017–2020 рр.)**

Варіант дослідю	Частина рослини	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	Коефіцієнт	
			переходу	накопичення
Без добрив (контроль)	Стигла ягода	28	0,08	0,03
	Листя	188	0,53	0,16
	Молодий приріст	71	1,00	0,08
	Коріння	301	1,06	0,32
$\text{N}_{40}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$	Стигла ягода	11	0,02	0,01
	Листя	114	0,39	0,12
	Молодий приріст	49	0,23	0,07
	Коріння	189	0,72	0,22

**2. Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  в органах рослин агрусу залежно від удобрення та метеорологічних умов (2017–2020 рр.), Бк/кг**

Вегетативна й генеративна частини рослини	2017	2018	2019	2020	Середнє
<i>Без добрив(контроль)</i>					
Ягода	44	19	14	35	28
Листя	176	176	170	229	188
Пагін	99	42	30	113	71
Коріння	–	–	142	460	301
$N_{40}P_{90}K_{150}$					
Ягода	25	7	6	6	11
Листя	98	98	90	169	114
Пагін	47	32	17	98	49
Коріння	–	–	62	315	189

порядку: коріння, листя, молоді пагони, стигла ягода. З унесенням мінеральних добрив накопичення  $^{137}\text{Cs}$  в окремих частинах рослини знизилося на 31,3%, 25,0, 22,0, 66,7% відповідно.

Одним із факторів, який зумовлює нерівномірність рівня питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  в ягодах, є кількість опадів і зміна середньої температури повітря протягом вегетаційного періоду (табл. 2). Впродовж усіх років досліджень погодні умови відзначалися підвищеною температурою повітря на 1,1–4,5°C відносно середньобагаторічних показників і нерівномірністю випадання опадів. Найінтенсивніший перехід  $^{137}\text{Cs}$  в рослини агрусу спостерігався в 2017 та 2020 рр., які характеризувалися за рівнем вологозабезпечення як оптимальні (2020 р. з ГТК 1,33) та слабопосушливі (2017 р. з

ГТК 1,01). Це пояснюється тим, що теплі й вологі умови вегетаційного періоду сприяють діяльності мікроорганізмів ґрунту, які беруть участь у мінералізації органічної речовини та збільшенні надходження  $^{137}\text{Cs}$  з ґрунту в рослинні органи та продукцію. При підвищенні вологості ґрунту накопичення мінеральних речовин у надземній фітомасі відбувається більш інтенсивно, відповідно з поживними речовинами накопичується більша кількість радіонуклідів. З підвищенням температури повітря збільшується кількість рухомих форм елементів живлення і надходження радіонуклідів. Тому при вирощуванні агрусу на осушуваних радіоактивно забруднених землях Полісся, крім агрохімічних заходів, слід оптимізувати й вологозабезпечення в I половині вегетаційного періоду.

### Висновки

За вирощування агрусу на осушуваних дерново-підзолистих ґрунтах Полісся зі щільністю забруднення території  $^{137}\text{Cs} \geq 8 \text{ Кі/км}^2$  при запровадженні комплексної системи агрохімічних заходів можна отримати продукцію, у якій не перевищені показники гігієнічних нормативів ГН 6.6.1.1-130-2006. Застосування збалансованої норми мінеральних доб-

рив  $N_{40}P_{90}K_{150}$  під агрус на провапнованому фоні зменшувало питому активність  $^{137}\text{Cs}$  в корінні на 37,2%, молодому прирості — 31,0, у листі — на 39,4%. Забрудненість ягід  $^{137}\text{Cs}$  у варіанті з унесенням добрив була у 2,6 раза нижчою, ніж на контролі (без унесення добрив). Отримана продукція відповідає вимогам ДР 2006 (70 Бк/кг).

Melnychuk G.<sup>1</sup>, Melnychuk A.<sup>2</sup>  
Institute of agriculture of Polissia region of NAAS,

131 Kyivske shose, Zhytomyr, 10007, Ukraine;  
e-mail: <sup>2</sup>andriy\_melnychuk@ukr.net; ORCID:



20000-0002-7879-3691

**Growing of normatively pure berry gooseberry products on radioactively contaminated soils of Polissia**

**Goal.** To experimentally determine the possibility of obtaining normatively pure gooseberry berry products on drained radioactively contaminated soils of Polissia. **Methods.** Lysimetric — to conduct a stationary experiment, laboratory — to determine the indicators of radiological contamination. **Results.** Long-term studies during 2016–2020 in a stationary lysimetric experiment had proved that gooseberry plants on a high radioactive background (8 Ki/km<sup>2</sup>) had a differentiation of specific activity by plant components. It gradually decreased from roots to generative organs (berries). The most polluted root system was fixed in the control version (without fertilizer). The activity of <sup>137</sup>Cs in the roots was 301 Bq/kg, shoots — 71, leaves — 188, berries — 28 Bq/kg. It was established that the change of moisture

in the root layer of the soil significantly affected the level of contamination of products with radionuclides. **Conclusions.** Growing gooseberries on drained sod-podzolic soils of Polissia with a pollution density of <sup>137</sup>Cs > 8 Ki/km<sup>2</sup> with the introduction of a comprehensive system of agrochemical measures allows obtaining products that do not exceed the hygienic standards GN 6.6.1.11302006. With the application of a balanced rate of mineral fertilizers N<sub>40</sub>P<sub>90</sub>K<sub>150</sub> for gooseberries on a limed background, the specific activity of <sup>137</sup>Cs in a root decreased by 37.2%, young growth — 31.0, leaves — by 39.4%. Contamination of berries with <sup>137</sup>Cs in the fertilized version was 2.6 times lower than in the control (without fertilization). The obtained products meet the requirements of DR 2006 (70 Bq/kg).

**Key words:** drained sod-podzolic soil, <sup>137</sup>Cs transition and accumulation coefficients, specific activity, radionuclides, fertilizer system.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovvisnyk202112-10>

**Бібліографія**

1. Закон України «Про зміну статусу зони посиленого радіологічного контролю № 76-VIII (7619) від 8.12.2014 р.».

2. Закон України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року». Київ, 21 грудня 2010 р., № 2818-VI.

3. Указ президента України від 05.07.2018 р. № 196/2018 «Про додаткові заходи з відродження територій, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи і соціального захисту постраждалих осіб, безпечного поводження з радіоактивними відходами».

4. Бондар О.І., Дутов О.І. Концептуальні підходи до напрямків можливого використання у агровиробництві відчужених радіоактивно забруднених земель. *Екологічні науки*. 2015. № 1. С. 187–194.

5. Дутов О.І. Агроекологічні підходи до мінімізації доз опромінення населення у віддаленій період розвитку радіологічної ситуації після аварії на ЧАЕС. *Екологічні науки*. 2014. № 1 (3). С. 24–30.

6. Куян В.Г., Яценко В.С. Нагромадження цезію-137 плодовими культурами в зонах різних рівнів радіаційного забруднення Житомирщини. *Вісник Державної агроекологічної академії України*. 2001. № 1. С. 16–17.

7. Яценко В.С. Нагромадження <sup>137</sup>Cs у органах і тканинах яблуни. *Вісник Державної агроекологічної академії України*. 2003. № 2. С. 203.

8. Благоев В.В., Ляшенко А.Н., Левчук Н.Н. Влияние дезактивации поверхности загрязненных почв на накопление радионуклидов растениями озимой ржи. *Проблемы прикладной радиологии растений*: тез. докл. Всесоюз. конф. Чернигов. 17–23 сентября 1990. Чернигов. 1990. С. 17.

9. Нетреба А.Г., Роташнюк О.Г., Соловсь-

ка В.С. Шляхи зниження надходження радіонуклідів до зерняткових і кісточкових плодів. *Вісник аграрної науки*. 1998. № 9. С. 48–50.

10. Пристер Б.С. Радиоэкологические закономерности динамики радиационной обстановки в сельском хозяйстве Украины после аварии на ЧАЭС. *Агроекологічний журнал*. 2005. № 3. С. 13–21.

11. Кухарь В.П., Ляшенко А.Н., Пискун А.В. Некоторые подходы к ограничению выноса растениями <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs из дерново-подзолистой почвы. *Радиационное наследие XX века и восстановление окружающей среды*: тез. докл. междунар. конф. Москва. 30 октября–2 ноября 2000. Москва, 2000. С. 142–143.

12. 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. Київ: Вид-во ТОВ «Альфа». 2004. С. 662–722.

13. Барбер С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве. Механистический подход; под ред. Э.Е. Хавкина, пер. с англ. Москва: Агропромиздат, 1986. 76 с.

14. Рекомендации по улучшению суходольных и низинных лугов, подвергшихся радиоактивному загрязнению; под ред. И.М. Богдевича и др. Минск, 2004. 69 с.

15. Михайловская Н.А., Лученок Л.Н. Использование ассоциативных диазотрофов на многолетних злаковых травах в условиях Беларуси. *Вісник Державної агроекологічної академії*. Спец. вип. Жовтень. Житомир, 2000. С. 49–51.