

УДК 631.438.2

Н.Н. ЦЫБУЛЬКО, доктор с.-х. наук, профессор¹

О.И. РОДЬКИН, доктор биол. наук, доцент,
заместитель директора по учебной работе¹

¹Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова
БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

И.И. ЖУКОВА, канд. с.-х. наук, доцент,

заведующий кафедрой общей биологии и ботаники

Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка,
г. Минск, Республика Беларусь

Статья поступила 9 февраля 2023 г.

НАКОПЛЕНИЕ ¹³⁷Cs И ⁹⁰Sr ДОННИКОМ БЕЛЫМ И ЭСПАРЦЕТОМ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЕЙ ФОСФОРНОГО И КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ

Установлено, что на дерново-подзолистых супесчаных почвах с плотностью загрязнения ¹³⁷Cs 525 кБк/м² и ⁹⁰Sr 15,2 кБк/м² активность ¹³⁷Cs в зеленой массе донника белого и эспарцета не превышает РДУ. Содержание ⁹⁰Sr в растениях донника белого достигает 153,4 Бк/кг, в растениях эспарцета – 95,9 Бк/кг, при РДУ 37 Бк/кг. Фосфорные и калийные удобрения под донник белый в дозах P₆₀K₆₀₋₁₂₀ и под эспарцет в дозах P₈₀K₁₄₀₋₁₈₀ снижают переход в зеленую массу ¹³⁷Cs, соответственно, на 37-44% и 28-40%, переход в зеленую массу ⁹⁰Sr на 25-31% и на 11%. При применении фосфорных и калийных удобрений донник белый и эспарцет можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения почв ¹³⁷Cs. На почвах, загрязненных ⁹⁰Sr, не рекомендуется возделывать донник белый и эспарцет для производства зеленой массы при использовании ее на корм с целью получения цельного молока, а только для получения молока-сырья при переработке на масло и производстве мяса.

Ключевые слова: ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, накопление, донник белый, эспарцет, дерново-подзолистая супесчаная почва.

TSYBULKA N.N., Doctor of Agric. Sc., Professor¹

RODZKIN O.I., Doctor of Biol. Sc., Associate Professor,
Deputy Director for educational work¹

¹International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University,
Minsk, Republic of Belarus

ZHUKOVA I.I., PhD in Agric. Sc., Associate Professor,

Head of the Department of General Biology and Botany

Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank, Minsk, Republic of Belarus

ACCUMULATION OF ¹³⁷CS AND ⁹⁰SR BY WHITE SWEET CLOVER AND SAINFOIN ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOILS DEPENDING ON THE LEVELS OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM NUTRITION

It was found that on sod-podzolic sandy loam soils with a pollution density of ¹³⁷Cs 525 kBq/m² and ⁹⁰Sr 15.2 kBq/m², the activity of ¹³⁷Cs in the green mass of white sweet clover and sainfoin does not exceed reference level. The content of ⁹⁰Sr in white sweet clover plants reaches 153.4 Bq/kg, in sainfoin plants – 95.9 Bq/kg, with a reference level of 37 Bq/kg. Phosphorous and potash fertilizers for white

sweet clover in rates of R60K60-120 and for sainfoin in rates of R80K140-180 reduce the transition to the green mass of ^{137}Cs by 37-44% and 28-40%, respectively, the transition to the green mass of ^{90}Sr by 25-31% and by 11%. When using phosphorus and potash fertilizers, white sweet clover and sainfoin can be cultivated without restrictions on the density of soil contamination ^{137}Cs . On soils contaminated with ^{90}Sr , it is not recommended to cultivate white sweet clover and sainfoin for the production of green mass when using it for feed in order to obtain whole milk, but only for the production of raw milk during processing for oil and meat production.

Keywords: ^{137}Cs , ^{90}Sr , accumulation, white sweet clover, sainfoin, sod-podzolic sandy loam soils.

Введение. Генетические особенности почв оказывают существенное влияние на процессы сорбции радионуклидов и интенсивность перехода их в растения. В зависимости от свойств почв содержание обменной формы радионуклидов в почвенном поглощающем комплексе варьирует от 9 до 40% для ^{137}Cs и от 64 до 93% для ^{90}Sr [1, 2].

Многочисленными исследованиями установлены зависимости перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения от комплекса агрохимических параметров почв, количественно представленных в виде индекса окультуренности – интегрального показателя относительной оценки рН, содержания гумуса, подвижных форм фосфора и калия к их оптимальным параметрам [3, 4].

Применение калийных удобрений – основной агрохимический прием, снижающий поступление ^{137}Cs в сельскохозяйственные культуры. На почвах разного генезиса под влиянием калия накопление ^{137}Cs в растениях может уменьшаться от 2 до 20 раз. Положительная роль его возрастает на фоне оптимальных параметров минерального питания растений [5].

Снижение перехода радионуклидов в растения при внесении калийных удобрений существенно зависит от исходной обеспеченности почвы калием [6]. Установлено, что уровень содержания подвижного калия в почве, превышение которого не снижает накопление ^{137}Cs в полевых культурах, составляет 240-260 мг/кг почвы. Внесение высоких доз калийных удобрений (180-240 кг/га) на слабо обеспеченных почвах (150 мг/кг) снижает в 1,5-2,7 раза содержание ^{137}Cs . На почвах с повышенным (250 мг/кг) и высоким (350 мг/кг) содержанием K_2O внесение повышенных доз калийных удобрений малоэффективно [7].

Цель настоящей работы – изучить влияние фосфорных и калийных удобрений на накоп-

ление ^{137}Cs и ^{90}Sr в зеленой массе донника белого и эспарцета на дерново-подзолистых супесчаных почвах и определить допустимые плотности загрязнения почвы для возделывания этих культур.

Объекты и методика исследования. Исследования проводили на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Плотность загрязнения почвы в среднем составляла: ^{137}Cs – 525 кБк/м² (14,2 Ки/км²), ^{90}Sr – 15,2 кБк/м² (0,41 Ки/км²). Агрохимические показатели почвы ($A_{\text{п}}$) следующие: содержание гумуса – 2,2%, pH_{KCl} – 5,9, P_2O_5 – 210 мг/кг почвы, K_2O – 200 мг/кг почвы.

Возделывали донник белый (*Melilotus albus*) и эспарцет (*Onobrychis*). Схемы применения фосфорных и калийных удобрений при возделывании донника белого и эспарцета приведены в таблице 1. Дозы удобрений приведены из расчета кг/га действующего вещества.

Размещение делянок в опыте рендомизированное. Повторность вариантов в опыте четырехкратная. Общая площадь делянки составляла 20 м², учетная площадь – 12 м².

Агрохимические показатели почв определяли по методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91 [8]; pH_{KCl} – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85 [9]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91 [10]. Определение удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг) в исследуемых почвенных пробах выполняли на γ - β -спектрометре МКС-АТ1315, в растительных образцах – на γ -спектрометрическом комплексе, «Canberra-Packard». Основная относительная погрешность измерений при доверительном интервале $P = 95\%$ не превышала 15-30%. Аппаратурная ошибка измерений не превышала 15%. Радиохимическое выделение ^{90}Sr проводили по МВИ. МН 1932-2003 [11] с радиометрическим окончанием на низкофономом

α - β -счэтка «Canberra-S5E» с погрэшнасцю не больш 20%.

Для колькаснай ацэнкі поступления ^{137}Cs і ^{90}Sr з пачвы ў расліны разлічвалі каэфіцыент перахода (K_n) – адносіна ўдзельнай актывнасці радыонукліда ў раслінах к шчынасці забруднення пачвы на адзінцу плошчы (Бк/кг : кБк/м²) [12].

Результаты і іх абсуджэнне. Накапленне ^{137}Cs і ^{90}Sr доннікам белым і эспарцетам завасело ад метеаралогічэскіх ўмоў вэгеацыйных перыядаў ў гады ісследаванняў і ўзроўняў прымянення фосфарных і калійных ўдобраў.

Устаноўлена, што за гады ісследаванняў актывнасць ^{137}Cs ў зялёнай масе гэтых культур, возделываемых на дерново-подзолистой супясчанай пачве с шчынасцю забруднення 525 кБк/м² (14,2 Ки/км²), даўе ў кантралльных варыянтах (без ўдобраў) не прывысала 60 Бк/кг, пры допустым узроўне (РДУ) садржання радыонукліда ў зялёнай масе пры іспальзованні ёе для палучэння цэльнага молака 165 Бк/кг. В сярэднім за 2 гады ісследаванняў адносінальнае садржання ^{137}Cs ў зялёнай масе донніка белага не прывысала

25% ад нарматыва, ў зялёнай масе эспарцета – 15% (табліца 1).

На дерново-подзолистой супясчанай пачве с сярэдняй абеспечаннасцю К₂О (200 мг/кг пачвы) і павышаннай абеспечаннасцю Р₂О₅ (210 мг/кг пачвы) прымяненне Р₆₀К₆₀ і Р₆₀К₁₂₀ снізіла пераход радыонукліда ў зялёную масу донніка белага па адносінах к кантралю на 37 і 44% саотвэстна. Каэфіцыенты перахода (K_n) радыонукліда з пачвы ў зялёную масу донніка белага змяняліся па варыянтах апыта ад 0,046 ў варыянце Р₆₀К₁₂₀ да 0,082 на кантралным варыянце (без ўдобраў).

Пры возделыванні эспарцета прымяненне Р₈₀К₁₄₀ і Р₈₀К₁₈₀ абеспечыла сніжэнне каэфіцыентаў перахода ^{137}Cs ў зялёную масу па адносінах к кантралю на 28 і 40% саотвэстна. Каэфіцыенты перахода радыонукліда з пачвы ў зялёную масу эспарцета змяняліся па варыянтах апыта ад 0,026 ў варыянце Р₈₀К₁₈₀ да 0,043 на кантралным варыянце (без ўдобраў).

Накапленне ^{90}Sr зялёнай масой донніка белага і эспарцета прыходыла больш інтэнсіўна па сраўненню с ^{137}Cs .

Табліца 1. – Вліянне фосфарных і калійных ўдобраў на накапленне ^{137}Cs ў зялёнай масе донніка белага і эспарцета

Культура	Варыянты апыта	Значэння паказатэляў			Садржання ^{137}Cs ў % ад РДУ
		мінімальнае	максимальнае	сярэдняе	
Доннік белы	Удзельная актывнасць ^{137}Cs ў зялёнай масе, Бк/кг				
	1. Кантрал	22,4	59,6	41,0	25
	2. Р ₆₀ К ₆₀	21,7	27,6	24,7	15
	3. Р ₆₀ К ₁₂₀	16,5	27,7	22,1	13
	Каэфіцыенты перахода ^{137}Cs ў зялёную масу				
	1. Кантрал	0,043	0,121	0,082	-
	2. Р ₆₀ К ₆₀	0,044	0,060	0,052	-
3. Р ₆₀ К ₁₂₀	0,037	0,054	0,046	-	
Эспарцет	Удзельная актывнасць ^{137}Cs ў зялёнай масе, Бк/кг				
	1. Кантрал	7,3	34,2	20,8	13
	2. Р ₈₀ К ₁₄₀	5,7	17,0	11,4	7
	3. Р ₈₀ К ₁₈₀	8,1	8,6	8,4	5
	Каэфіцыенты перахода ^{137}Cs ў зялёную масу				
	1. Кантрал	0,015	0,070	0,043	-
	2. Р ₈₀ К ₁₄₀	0,017	0,044	0,031	-
3. Р ₈₀ К ₁₈₀	0,011	0,041	0,026	-	

Так, при плотности загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы 15,2 кБк/м² (0,41 Ки/км²) удельная активность радионуклида в зеленой массе донника белого первого года пользования на контроле (без применения удобрений) составила 56,7 Бк/кг при допустимом уровне 37 Бк/кг, то есть превышала РДУ в 1,5 раза.

На почве с рН_{KCl} 5,9 (слабокислая) и повышенным содержанием P₂O₅ и средним содержанием K₂O применение перед посевом донника белого фосфорных и калийных удобрений в дозах P₆₀K₆₀ и P₆₀K₁₂₀ не обеспечило существенного снижения концентрации ⁹⁰Sr в зеленой массе в первый год использования. На второй год возделывания донника белого наблюдалось увеличение удельной активности ⁹⁰Sr в зеленой массе, составившая на контроле 153,4 Бк/кг (в 4,1 раза выше РДУ). Внесение в подкормку посевов в весенний период фосфорных и калийных удобрений в дозах P₆₀K₆₀ и P₆₀K₁₂₀ обеспечило снижение содержания радионуклида в зеленой массе, соответственно, на 38,9 и 47,8 Бк/кг (на 25 и 31%) (таблица 2).

Удельная активность ⁹⁰Sr в зеленой массе эспарцета первого года пользования составила в среднем 63,8 Бк/кг, что в 1,7 раза превышала РДУ. Применение перед посевом фосфорных и калийных удобрений в дозах P₈₀K₁₄₀ и P₈₀K₁₈₀ снижали концентрацию радионуклида в растениях незначительно. Содержание ⁹⁰Sr в зеленой массе эспарцета вто-

рого года пользования было выше как на контроле, так и в вариантах с применением фосфорных и калийных удобрений. Ранневесенняя подкормка посевов фосфором и калием в дозах P₈₀K₁₄₀ обеспечила снижение удельной активности радионуклида в зеленой массе с 95,9 до 85,6 Бк/кг или на 11%.

Коэффициенты перехода ⁹⁰Sr из почвы в зеленую массу донника белого первого года пользования изменялись по вариантам опыта от 3,39 в варианте P₆₀K₁₂₀ до 3,73 на контрольном варианте (без удобрений), в зеленой массе второго года пользования от 6,95 до 10,09. Параметры перехода радионуклида в зеленую массу эспарцета в первый год его пользования были практически такими же, как и в зеленую массу донника белого, а во второй год пользования выше и колебались от 5,61 до 6,31.

На основании коэффициентов перехода ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr из почвы в растения донника белого и эспарцета, полученных при разных дозах применения фосфорных и калийных удобрений, определены допустимые плотности загрязнения дерново-подзолистых супесчаных почв (ДП_п) при возделывании этих культур для получения зеленой массы при скормливании ее поголовью сельскохозяйственных животных с целью получения цельного молока и мяса, отвечающих республиканским допустимым уровням (РДУ-99) и допустимым уровням, принятым в рамках Таможенного союза (ДУ ТС).

Таблица 2. – Влияние фосфорных и калийных удобрений на накопление ⁹⁰Sr в зеленой массе донника белого и эспарцета

Год возделывания культуры	Варианты опыта	Удельная активность ⁹⁰ Sr, Бк/кг	Кратность превышения РДУ, раз	K _n ⁹⁰ Sr
Донник белый первого года	1. Контроль	56,7	1,5	3,73
	2. P ₆₀ K ₆₀	54,9	1,5	3,61
	3. P ₆₀ K ₁₂₀	51,5	1,4	3,39
Донник белый второго года	1. Контроль	153,4	4,1	10,09
	2. P ₆₀ K ₆₀	114,5	3,1	7,53
	3. P ₆₀ K ₁₂₀	105,6	2,9	6,95
Эспарцет первого года	1. Контроль	63,8	1,7	4,20
	2. P ₈₀ K ₁₄₀	60,2	1,6	3,96
	3. P ₈₀ K ₁₈₀	58,4	1,6	3,84
Эспарцет второго года	1. Контроль	95,9	2,6	6,31
	2. P ₈₀ K ₁₄₀	85,6	2,3	5,63
	3. P ₈₀ K ₁₈₀	85,3	2,3	5,61

Расчеты проводились по формуле [12]:

$$ДП_{II} = \frac{ДУ}{K_{II} * 37},$$

где, $ДП_{II}$ - допустимая плотность загрязнения почвы радионуклидами, Ки/км², $ДУ$ – республиканский допустимый уровень или допустимый уровень в рамках Таможенного союза содержания радионуклидов в продукции, Бк/кг, л, K_{II} – коэффициенты перехода радионуклидов из почвы в растениеводческую продукцию, Бк/кг : кБк/м², 37 – коэффициент пересчета нКи/кг в Бк/кг.

В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями (РДУ-99) для получения нормативно чистого цельного молока (<100 Бк/л) и мяса (<500 Бк/кг) допустимый уровень ¹³⁷Cs в зеленой массе не должен превышать, соответственно, 165 Бк/кг и 240 Бк/кг, для получения нормативно чистого молока-сырья при переработке на масло – 600 Бк/кг. Техническим регламентом (ТР ТС 021/2011) «О безопасности пищевой продукции» в рамках Таможенного союза установлен более «жесткий» по сравнению с РДУ-99 норматив на содержание ¹³⁷Cs в мясе составляет 200 Бк/кг. Предельно допустимое содержание радионуклида в зеленой массе для заключительной стадии откорма животных примерно в 2,5 раза ниже и не должно превышать 95 Бк/кг [12].

В соответствии с РДУ-99 норматив на содержание ⁹⁰Sr в молоке цельном составляет 3,7 Бк/л, в масле сливочном – 18 Бк/кг. Для

получения нормативно чистого цельного молока и масла допустимый уровень ⁹⁰Sr в зеленой массе не должен превышать, соответственно, 37 Бк/кг и 185 Бк/кг.

Установлено, что на дерново-подзолистых супесчаных почвах с обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия на уровне 200-210 мг/кг почвы и применении фосфорных и калийных удобрений под донник белый в дозах P₆₀K₆₀ и под эспарцет в дозах P₈₀K₁₄₀ эти культуры можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения ¹³⁷Cs (до 40 Ки/км²) для производства зеленой массы при использовании ее на корм для получения цельного молока, молока-сырья для переработки на масло и мяса, отвечающих РДУ-99 и ДУ ТР ТС 021/2011 по содержанию радионуклида.

Ограничено возделывание донника белого без применения фосфорных и калийных удобрений плотностью загрязнения почвы ¹³⁷Cs до 21 Ки/км² для производства зеленой массы при использовании ее на корм с целью получения мяса с допустимым содержанием радионуклида до 200 Бк/кг (таблица 3).

Установлено, что на дерново-подзолистых супесчаных почвах, загрязненных ⁹⁰Sr, не рекомендуется возделывать донник белый и эспарцет для производства зеленой массы при использовании ее на корм с целью получения цельного молока, а только для получения молока-сырья для переработки на масло.

Таблица 3. – Допустимые плотности (Ки/км²) загрязнения ¹³⁷Cs дерново-подзолистых супесчаных почв при производстве зеленой массы донника белого и эспарцета в зависимости от кормового назначения

Варианты опыта	Молоко цельное и молоко-сырье на масло		Мясо с РДУ-99 и ДУ ТР ТС	
	РДУ 165 Бк/кг	РДУ 600 Бк/кг	РДУ 240 Бк/кг	ДУ ТР ТС 95 Бк/кг
Донник белый				
1. Контроль	36	40	40	21
2. P ₆₀ K ₆₀	40	40	40	40
3. P ₆₀ K ₁₂₀	40	40	40	40
Эспарцет				
1. Контроль	40	40	40	36
2. P ₈₀ K ₁₄₀	40	40	40	40
3. P ₈₀ K ₁₈₀	40	40	40	40

Таблица 4. – Допустимые плотности (Ки/км²) загрязнения ⁹⁰Sr дерново-подзолистых супесчаных почв при производстве зеленой массы донника белого и эспарцета в зависимости от кормового назначения

Год возделывания культуры	Варианты опыта	Молоко цельное РДУ в зеленой массе 37 Бк/кг	Молоко-сырье на масло РДУ в зеленой массе 185 Бк/кг
Донник белый первого года	1. Контроль	0,27	1,34
	2. P ₆₀ K ₆₀	0,28	1,39
	3. P ₆₀ K ₁₂₀	0,29	1,47
Донник белый второго года	1. Контроль	0,10	0,50
	2. P ₆₀ K ₆₀	0,13	0,66
	3. P ₆₀ K ₁₂₀	0,14	0,72
Эспарцет первого года	1. Контроль	0,24	1,19
	2. P ₈₀ K ₁₄₀	0,25	1,26
	3. P ₈₀ K ₁₈₀	0,26	1,30
Эспарцет второго года	1. Контроль	0,16	0,79
	2. P ₈₀ K ₁₄₀	0,18	0,89
	3. P ₈₀ K ₁₈₀	0,18	0,89

При применении фосфорных и калийных удобрений донник белый возможно размещать на почвах с плотностью загрязнения до 0,65-0,70 Ки/км², эспарцет – до 0,85-0,89 Ки/км² (таблица 4).

Заключение.

1. На дерново-подзолистых супесчаных почвах с плотностью загрязнения 525 кБк/м² (14,2 Ки/км²) обеспеченностью P₂O₅ и K₂O 200-210 мг/кг почвы удельная активность ¹³⁷Cs в зеленой массе донника белого и эспарцета не превышает 60 Бк/кг, что в 2,7 раза ниже РДУ. Фосфорные и калийные удобрения в дозах под донник белый P₆₀K₆₀₋₁₂₀ и под эспарцет P₈₀K₁₄₀₋₁₈₀ снижают переход ¹³⁷Cs в растения по отношению к контролю на 37-44% и 28-40% соответственно.

2. Накопление ⁹⁰Sr растениями донника белого и эспарцета происходит более интенсивно по сравнению с ¹³⁷Cs. На дерново-подзолистых супесчаных почвах с плотностью загрязнения 15,2 кБк/м² (0,41 Ки/км²) удельная активность ⁹⁰Sr в зеленой массе донника белого достигает 153,4 Бк/кг в зеленой массе эспарцета 95,9 Бк/кг, при допустимом уровне 37 Бк/кг. Применение под донник белый фосфорных и калийных удобрений в дозах P₆₀K₆₀₋₁₂₀ обеспечивает снижение содержания ⁹⁰Sr в зеленой массе, соответ-

ственно, на 25-31%, применение под эспарцет P₈₀K₁₄₀ – на 11%.

3. На дерново-подзолистых супесчаных почвах при внесении фосфорных и калийных удобрений донник белый и эспарцет можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения ¹³⁷Cs для производства зеленой массы при использовании ее на корм для получения цельного молока и мяса. Без применения удобрений возделывание донника белого ограничено плотностью загрязнения почвы ¹³⁷Cs до 21 Ки/км² для производства зеленой массы при использовании ее на корм с целью получения мяса с содержанием радионуклида до 200 Бк/кг.

4. На почвах, загрязненных ⁹⁰Sr, не рекомендуется возделывать донник белый и эспарцет для производства зеленой массы при использовании ее на корм с целью получения цельного молока, а только для получения молока-сырья при переработке на масло и производстве мяса. При применении фосфорных и калийных удобрений донник белый возможно размещать на почвах с плотностью загрязнения до 0,65-0,70 Ки/км², эспарцет – до 0,85-0,89 Ки/км².

Список литературы

1. Научные основы реабилитации сельскохозяйственных территорий, загрязненных в результате крупных радиационных аварий / Под общ. ред. Н.Н. Цыбулько. – Минск : Ин-т радиологии, 2012. – 438 с.
2. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / Под ред. чл.-корр. РАН Н.И. Санжаровой и проф. С.В. Фесенко. – М.: РАН, 2018. – 278 с.
3. 35 лет после чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления ее последствий: национальный доклад Республики Беларусь / Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Минск: ИВЦ Минфина, 2020. – 152 с.
4. Путятин, Ю. В. Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Ю. В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 268 с.
5. Алексахин, Р. М. Поведение ^{137}Cs в системе почва – растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае / Р. М. Алексахин, И. Т. Моисеев, Ф. А. Тихомиров // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 127–138.
6. Путятин, Ю. В. Влияние кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы и доз калийных удобрений на переход ^{137}Cs и ^{90}Sr в яровую пшеницу / Ю. В. Путятин, Т. М. Серая, О. М. Петрикевич // Почвоведение и агрохимия. – 2004. – Вып. 33. – С. 163-169.
7. Богдевич, И. М. Урожай и поступление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственные культуры в зависимости от доз калийных удобрений / И. М. Богдевич // Почвенные исследования и применение удобрений. – 2003. – № 27. – С. 158-168.
8. ГОСТ 26212–91. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
9. ГОСТ 26483–85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.
10. ГОСТ 26207–91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.
11. СТБ 1059.98. Радиационный контроль. Подготовка проб для определения ^{90}Sr и ^{137}Cs . – Минск: Белстандарт, 1998. – 22 с.
12. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021-2025 годы/ Н.Н. Цыбулько [и др.]; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.

References

1. *Nauchnye osnovy rehabilitatsii selskokhozyaystvennykh territoriy, zagryaznennykh v rezultate krupnykh radiatsionnykh avariyy* [Scientific bases of rehabilitation of agricultural territories polluted as a result of major radiation accidents] / Ed. Tsybulko N.N. Minsk: In-t radiologii, 2012. 438 p. (In Russian)
2. *Radioekologicheskie posledstviya avarii na Chernobylskoy AES: biologicheskie efekty, migratsiya, rehabilitatsiya zagryaznennykh territoriy* [Radioecological consequences of the Chernobyl accident: biological effects, migration, rehabilitation of contaminated areas] / Eds. chl.-korr. RAN Sanzharovoy N.I. end prof. Fesenko S.V. M.: RAN, 2018. 278 p. (In Russian)
3. *35 let posle chernobylskoy katastrofy: itogi i perspektivy preodoleniya ee posledstviy: natsionalnyy doklad Respubliki Belarus* [35 years after the Chernobyl disaster: results and prospects of overcoming its consequences: National report of the Republic of Belarus]/Departament po likvidatsii posledstviy katastrofy na Chernobylskoy AES Ministerstva po chrezvychaynym situatsiyam Respubliki Belarus. Minsk: IVTs Minfina, 2020, 152 p. (In Russian)
4. Putyatin Yu.V. *Minimizatsiya postupleniya radionuklidov ^{137}Cs i ^{90}Sr v rastenievodcheskuyu produktsiyu* [Minimization of the intake of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides in

- crop production]. Minsk: In-t pochvovedeniya i agrokhemii, 2008, 268 p. (In Russian)
5. Aleksakhin R.M., Moiseev I.T., Tikhomirov F.A. Povedenie ^{137}Cs v sisteme pochva – rastenie i vliyanie vneseniya udobreniy na nakoplenie radionuklida v urozhae [The behavior of ^{137}Cs in the soil–plant system and the effect of fertilization on the accumulation of radionuclide in the crop]. *Agrokhemiya* [Agrochemistry], 1992, no 8, pp. 127–138. (In Russian)
 6. Putyatin Yu.V., Seraya T.M., Petrikevich O.M. Vliyanie kislotnosti dernovo-podzolistoy supeschanoy pochvy i doz kaliynykh udobreniy na perekhod ^{137}Cs i ^{90}Sr v yarovuyu pshenitsu [The influence of acidity of sod-podzolic sandy loam soil and doses of potash fertilizers on the transition of ^{137}Cs and ^{90}Sr to spring wheat]. *Pochvovedenie i agrokhemiya* [Soil science and agrochemistry], 2004, Is. 33, pp. 163-169. (In Russian)
 7. Bogdevich I.M. Urozhay i postuplenie radionuklidov ^{137}Cs i ^{90}Sr v selskokhozyaystvennye kultury v zavisimosti ot doz kaliynykh udobreniy [Harvest and receipt of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in agricultural crops depending on doses of potash fertilizers]. *Pochvennye issledovaniya i primenenie udobreniy* [Soil research and application of fertilizers], 2003, no. 27, p. 158 168. (In Russian)
 8. GOST 26212–91. Pochvy. Opredelenie organicheskogo veshchestva v modifikatsii TsINAO [State Standard 26212-91. Soils. Determination of organic matter in the modification of TSINAO]. Minsk. Izd-vo standartov, 1992, 6 p. (In Russian)
 9. GOST 26483–85. Pochvy. Prigotovlenie solevoy vytyazhki i opredelenie pN po metodu TsINAO [State Standard 26483-85. Soils. Preparation of salt extract and determination of pH by the TSINAO method]. Minsk. Belarus. State Institute of Standardization and Certification, 1987, 4 p. (In Russian)
 10. GOST 26207–91. Pochvy. Opredelenie podvizhnykh soedineniy fosfora i kaliya po metodu Kirsanova v modifikatsii TsINAO [State Standard 26207-91. Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by the Kirsanov method in the modification of the TSINAO]. Minsk. Belarus. State Institute of Standardization and Certification, 1992, 6 p. (In Russian)
 11. STB 1059.98. Radiatsionnyy kontrol. Podgotovka prob dlya opredeleniya ^{90}Sr i ^{137}Cs [Standard Belarus 1059.98. Radiation monitoring. Preparation of samples for the determination of ^{90}Sr and ^{137}Cs]. Minsk. Belstandart, 1998, 22 p. (In Russian)
 12. *Rekomendatsii po vedeniyu selskokhozyaystvennogo proizvodstva na territorii radioaktivnogo zagryazneniya Respubliki Belarus na 2021-2025 gody* [Recommendations on agricultural production in the territory of radioactive contamination of the Republic of Belarus for 2021-2025] Tsybulko N.N. [et al.]; National Academy of Sciences of Belarus, Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, Institute of Soil Science and Agrochemistry. Minsk. IVC of the Ministry of Finance, 2021, 144 p. (In Russian)

Received 9 February 2023