

## ОГРАНИЧЕНИЯ ПО ПЛОТНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ РАДИОНУКЛИДАМИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НОРМАТИВНО ЧИСТЫХ ЗЕЛЕННЫХ КОРМОВ НА ОСНОВЕ ЗАСУХОУСТОЙЧИВЫХ КУЛЬТУР

**Г. В. СЕДУКОВА, Н. В. КРИСТОВА, С. А. ИСАЧЕНКО**

*Государственное учреждение «Институт радиобиологии НАН Беларуси»,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

*(Поступила в редакцию 13.07.2023)*

*Представлены параметры перехода радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу засухоустойчивых культур – сорго сахарное, сорго-суданковый гибрид и суданская трава, возделываемых на дерново-подзолистой супесчаной почве. Установлено, что значения коэффициентов перехода ( $K_n$ )  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу сорговых культур, убранных в фазу начала выметывания, находятся на уровне  $6,4-6,8 \times 10^{-2} \text{Бк/кг} : \text{кБк/м}^2$ . Отсутствуют существенные различия между культурами по данному показателю. Прослеживается значительная изменчивость  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу по годам исследований (22–36 %). По  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу сорговые культуры имеют существенные различия и располагаются в следующем возрастающем ряду: сорго сахарное 3,74, ССГ – 4,26, суданская трава – 5,93 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>. Изменчивость  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$  у сорго сахарного и ССГ незначительная ( $V=10$  %), у суданской травы – средняя ( $V=16$  %).*

*Показано влияние разных доз минеральных удобрений на интенсивность перехода радионуклидов из почвы в растения сорго сахарного, сорго-суданкового гибрида и суданской травы, используемые в качестве зеленых кормов для сельскохозяйственных животных. Установлено, что внесение минеральных удобрений обеспечивает снижение по сравнению с контролем  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  на 13–31 %,  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$  – на 23–32 %. Минимальные значения  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  и  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу сорговых культур обеспечивает система удобрений  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$ . При использовании высокой дозы азота при низких дозах фосфора и калия  $\text{N}_{90}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$  интенсивность поступления  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$  максимальная.*

*Возделывание сорговых культур на территории радиоактивного загрязнения не ограничивается плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ . Установлены значения плотности загрязнения почвы  $^{90}\text{Sr}$ , при которых зеленые корма на основе сорговых культур будут гарантировано соответствовать нормативным требованиям по содержанию данного радионуклида для скормливания крупному рогатому скоту и производства различных видов конечной продукции. Соответствие нормативным требованиям РДУ для получения молока цельного возможно при скормливания зеленой массы сорго сахарного с удобренных участков при плотности загрязнения почвы  $^{90}\text{Sr}$  не выше 9,9 кБк/м<sup>2</sup>, ССГ – не более 8,7 кБк/м<sup>2</sup> и суданской травы – менее 6,2 кБк/м<sup>2</sup>. Использование  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$  обеспечивает расширение посевов сорго сахарного, отвечающего требованиям РДУ, до 20 кБк/м<sup>2</sup>, ССГ – до 10,9 кБк/м<sup>2</sup>, суданской травы – до 8,5 кБк/м<sup>2</sup>.*

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая супесчаная почва, сорго сахарное, сорго-суданковый гибрид, суданская трава, радионуклиды, минеральные удобрения

*The parameters of the transition of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  radionuclides into the green mass of drought-resistant crops – sugar sorghum, sorghum-Sudanese hybrid and Sudan grass, cultivated on soddy-podzolic sandy loamy soil are presented. It has been established that the values of coefficient of transition of  $^{137}\text{Cs}$  into the green mass of sorghum crops, harvested in the phase of the beginning of heading, are at the level of  $6.4-6.8 \times 10^{-2} \text{Bq/kg} : \text{kBq/m}^2$ . There are no significant differences between crops in this indicator. There is a significant variability of coefficient of transition of  $^{137}\text{Cs}$  into the green mass over the years of research (22–36 %). According to the coefficient of transition of  $^{90}\text{Sr}$  into the green mass, sorghum crops have significant differences and are located in the following ascending row: sugar sorghum 3.74, sorghum-Sudanese hybrid – 4.26, Sudan grass – 5.93 Bq/kg:kBq/m<sup>2</sup>. The variability of transition coefficient of  $^{90}\text{Sr}$  in sugar sorghum and sorghum-Sudanese hybrid is insignificant ( $V=10$  %), in Sudan grass it is medium ( $V=16$  %).*

*The influence of different doses of mineral fertilizers on the intensity of the transfer of radionuclides from the soil into plants of sugar sorghum, sorghum-Sudanese hybrid and Sudan grass, used as green fodder for farm animals, is shown. It has been established that the application of mineral fertilizers provides a reduction in comparison with the control of transition coefficient of  $^{137}\text{Cs}$  by 13–31 %, of  $^{90}\text{Sr}$  – by 23–32 %. The minimum values of coefficient of transition of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  into the green mass of sorghum crops were provided by the  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$  fertilizer system. When using a high dose of nitrogen at low doses of phosphorus and potassium in  $\text{N}_{90}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$ , the intensity of transition coefficient of  $^{90}\text{Sr}$  is maximum.*

*Cultivation of sorghum crops in the territory of radioactive contamination is not limited by the density of  $^{137}\text{Cs}$  contamination. The values of density of soil contamination with  $^{90}\text{Sr}$  have been established, at which green fodder based on sorghum crops will be guaranteed to meet the regulatory requirements for the content of this radionuclide for cattle feeding and the production of various types of end products. Compliance with the regulatory requirements of the Republican Allowable Level for obtaining whole milk is possible when feeding the green mass of sugar sorghum from unfertilized areas with a density of soil contamination by  $^{90}\text{Sr}$  not higher than 9.9 kBq/m<sup>2</sup>, sorghum-Sudanese hybrid – not more than 8.7 kBq/m<sup>2</sup> and Sudan grass – less than 6.2 kBq/m<sup>2</sup>. The use of  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$  ensures the expansion of the sowing of sugar sorghum, which meets the requirements of the Republican Allowable Level, up to 20 kBq/m<sup>2</sup>, sorghum-Sudanese hybrid – up to 10.9 kBq/m<sup>2</sup>, Sudan grass – up to 8.5 kBq/m<sup>2</sup>.*

**Key words:** soddy-podzolic sandy loam soil, sugar sorghum, sorghum-Sudanese hybrid, Sudanese grass, radionuclides, mineral fertilizers.

### Введение

В Беларуси наблюдается повышение среднегодовой температуры воздуха, сдвиг агроклиматических зон и появление новой с суммой эффективных температур 2600–2800 °С, располагающейся на юге республики, где находится наибольшая часть территории радиоактивного загрязнения. Потепление климата позволяет внедрять новые засухоустойчивые культуры. Однако для их использования необходимы

данные об удельной активности радионуклидов в продукции, прогнозных значениях уровней их накопления для планирования размещения культур по полям. Выбор культур для выращивания должен основываться на возможности производства продукции, соответствующей нормативным требованиям по содержанию радионуклидов, с одной стороны, и получения высоких стабильных урожаев хорошего качества при складывающихся климатических условиях, с другой.

Цель исследований – установить плотности загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы радионуклидами, обеспечивающие производство нормативно чистых зеленых кормов на основе засухоустойчивых культур.

### Основная часть

В качестве объектов исследований использованы засухоустойчивые культуры: сорго сахарное, сорго-суданковый гибрид (ССГ), суданская трава. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с методикой полевого опыта [1] на дерново-подзолистой супесчаной почве, загрязнённой радионуклидами чернобыльского происхождения. Средняя плотность загрязнения пахотного горизонта почвы  $^{137}\text{Cs}$  составила 54,2 кБк/м<sup>2</sup> (1,5 Ки/км<sup>2</sup>),  $^{90}\text{Sr}$  – 11,4 кБк/м<sup>2</sup> (0,3 Ки/км<sup>2</sup>).

Схема полевого опыта включала варианты: P<sub>40</sub>K<sub>80</sub>, P<sub>40</sub>K<sub>100</sub>; P<sub>60</sub>K<sub>80</sub>, P<sub>60</sub>K<sub>100</sub>, N<sub>70</sub>P<sub>40</sub>K<sub>80</sub>, N<sub>90</sub>P<sub>40</sub>K<sub>80</sub>; N<sub>70</sub>P<sub>40</sub>K<sub>100</sub>, N<sub>90</sub>P<sub>40</sub>K<sub>100</sub>, N<sub>70</sub>P<sub>60</sub>K<sub>80</sub>, N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>80</sub>; N<sub>70</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub>, N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub> и контроль (без удобрений). В качестве удобрений использовались: карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. Повторность опыта 3-кратная, общая площадь деланки составляла 10 м<sup>2</sup>, учетная – 4 м<sup>2</sup>. Посев широкорядный с шириной междурядий 45 см проводился в начале третьей декады мая, уборка в конце июля, начале августа в период наступления у культур фазы начала выброса метёлки. Определение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в почвенных и растительных образцах выполнялось на  $\gamma$ -спектрометрическом комплексе фирмы Canberra,  $^{90}\text{Sr}$  – радиохимическим методом на низкофоном  $\alpha$ - $\beta$  счетчике Canberra-5S [2]. Для количественной оценки поступления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растения рассчитывали коэффициент перехода – (Кп, Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>) по формуле:

$$\text{Кп} = \text{УА} / \text{П},$$

где УА – удельная активность радионуклида в продукции при стандартной влажности, Бк/кг,  
П – плотность загрязнения почвы радионуклидом, кБк/м<sup>2</sup>.

Предельные допустимые плотности загрязнения почвы для производства нормативно чистых кормов (кБк/м<sup>2</sup>) рассчитывали по формуле:

$$\text{ПДП} = \text{ДУ} / \text{Кп},$$

где ДУ – республиканский допустимый уровень содержания радионуклида в продукции [3], или содержание радионуклида, регламентированное Техническим регламентом Таможенного союза (ТР ТС Корма по [4]) (Бк/кг);

Кп – коэффициент перехода радионуклида из почвы в растениеводческую продукцию (Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>).

Анализируя контрольные варианты, установлено, что средние значения Кп  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу, убранный в фазу начала выброса метелки, составляют у сорго сахарного  $6,8 \times 10^{-2}$ , ССГ –  $6,5 \times 10^{-2}$  и у суданской травы  $6,4 \times 10^{-2}$  Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>. Отсутствуют существенные различия между культурами по данному показателю. Анализ данных показал, что изменчивость Кп  $^{137}\text{Cs}$  в среднем за 3 года исследований является значительной (коэффициент вариации (V) у сорго сахарного и ССГ 36 и 33 %, соответственно, у суданской травы – 22 %).

Внесение минеральных удобрений обеспечивает достоверное снижение Кп  $^{137}\text{Cs}$  для сорго сахарного до 25 %. Кп  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу культуры в зависимости от системы удобрений изменяются от  $5,1 \times 10^{-2}$  до  $5,7 \times 10^{-2}$  Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>. Существенных различий между вариантами фосфорно-калийного питания не установлено, однако наибольшее снижение наблюдалось при использовании P<sub>40,60</sub>K<sub>100</sub>. При увеличении дозы калия с 80 до 100 кг/га д.в. Кп  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу сорго сахарного уменьшается до 7 %. Отмечалось незначительное увеличение Кп  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу сорго сахарного при использовании азотных удобрений по сравнению с безазотными вариантами. В среднем Кп  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу ССГ при внесении NPK уменьшается до 31 % по сравнению с контролем. В посевах ССГ при применении азотных удобрений увеличения Кп  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу культуры не отмечено. Внесение NPK обеспечивает снижение Кп  $^{137}\text{Cs}$  в зелёную массу суданской травы на 13 % по сравнению с контролем и не имеет различий с фонами РК. При использовании полного минерального удобрения минимальное значение Кп  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу обеспечила система удобрений N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub>.

По Кп  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу сорговые культуры располагаются в следующем ряду (по возрастанию): сорго сахарное 3,74, ССГ – 4,26, суданская трава – 5,93 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>. Усредненный Кп  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую

массу суданской травы на 39 % и 58 % выше, чем в продукцию ССГ и сорго сахарного соответственно. Кп  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу ССГ на 14 % выше, чем для сорго сахарного.

Изменчивость Кп  $^{90}\text{Sr}$  у сорго сахарного и ССГ незначительная ( $V=10\%$ ), у суданской травы – средняя ( $V=16\%$ ).

Применение минеральных удобрений является эффективным способом снижения (на 23–32 %) поступления  $^{90}\text{Sr}$  в растения сорго сахарного по отношению к контролю. При использовании фосфорно-калийных удобрений наименьший Кп  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу сорго сахарного получен при внесении  $\text{P}_{60}\text{K}_{80}$ . Увеличение дозы фосфора обеспечивает снижение Кп  $^{90}\text{Sr}$  в вегетативную массу сорго сахарного на 4–5 % на фонах с  $\text{N}_{70}$ ; на 9 % на фонах с  $\text{N}_{90}$ .

Среди вариантов с внесением полного минерального удобрения в посевах сорго сахарного наименьшие Кп  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу получены при  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$  и  $\text{N}_{70}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$ . Максимальный Кп  $^{90}\text{Sr}$  отмечен при высокой дозе азота и низких фосфора и калия –  $\text{N}_{90}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$ . По сравнению с контрольным вариантом применение минеральных удобрений обеспечило уменьшение Кп  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу ССГ на 12–21 %. Это, в среднем, на 39 % ниже, чем эффективность применения удобрений в посевах сорго сахарного. В варианте с внесением  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$  в посевах ССГ фиксировался минимальный Кп  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу. Прослеживалась тенденция снижения интенсивности поступления радионуклида в продукцию суданской травы при увеличении дозы фосфора.

Установленные параметры перехода радионуклидов в продукцию сорговых культур позволяют определить плотность радиоактивного загрязнения почвы и территорию радиоактивного загрязнения, пригодную для производства нормативно чистой зеленой массы сорговых культур (удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  165 Бк/кг и менее для получения цельного молока, не более 600 Бк/кг для получения молока-сырца для переработки, 240 Бк/кг для получения мяса (на заключительной стадии откорма животных);  $^{90}\text{Sr}$  – не более 37 Бк/кг для скармливания КРС и получения цельного молока, 185 Бк/кг – молока-сырца; в соответствии с РДУ и содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зеленой массе 100 Бк/кг и менее,  $^{90}\text{Sr}$  – 50 Бк/кг согласно ТР ТС).

Установлено, что даже на контрольных участках ПДП загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  превышают значения, ограничивающие ведение сельскохозяйственного производства в Республике Беларусь (плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  до 1480 кБк/м<sup>2</sup>). Следовательно, на текущий и последующие периоды после чернобыльской катастрофы возделывание сорговых культур на территории радиоактивного загрязнения не ограничивается плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ .

Соответствие нормативным требованиям РДУ для получения молока цельного возможно при скармливании зеленой массы сорго сахарного с удобренных участков при плотности загрязнения пахотного горизонта почвы  $^{90}\text{Sr}$  не выше 9,9 кБк/м<sup>2</sup> (0,27 Ки/км<sup>2</sup>), ССГ – не более 8,7 кБк/м<sup>2</sup> (0,23 Ки/км<sup>2</sup>) и суданской травы – менее 6,2 кБк/м<sup>2</sup> (0,17 Ки/км<sup>2</sup>) (табл. 1).

Таблица 1. Предельные плотности загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы  $^{90}\text{Sr}$  для производства зеленой массы сорговых культур для скармливания КРС и получения молока цельного, отвечающей требованиям РДУ

Система удобрений	Сорго сахарное		ССГ		Суданская трава	
	кБк/м <sup>2</sup>	Ки/км <sup>2</sup>	кБк/м <sup>2</sup>	Ки/км <sup>2</sup>	кБк/м <sup>2</sup>	Ки/км <sup>2</sup>
Контроль	9,9	0,27	8,7	0,23	6,2	0,17
$\text{P}_{40}\text{K}_{80}$	13,1	0,36	10,4	0,28	7,7	0,21
$\text{P}_{60}\text{K}_{80}$	14,5	0,39	10,6	0,29	7,9	0,21
$\text{P}_{40}\text{K}_{100}$	13,5	0,36	10,2	0,28	7,5	0,20
$\text{P}_{60}\text{K}_{100}$	14,0	0,38	10,6	0,29	7,7	0,21
$\text{N}_{70}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$	13,4	0,36	10,4	0,28	7,8	0,21
$\text{N}_{70}\text{P}_{60}\text{K}_{80}$	14,1	0,38	10,7	0,29	8,3	0,22
$\text{N}_{70}\text{P}_{40}\text{K}_{100}$	13,7	0,37	9,9	0,27	7,5	0,20
$\text{N}_{70}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$	14,2	0,38	10,7	0,29	8,1	0,22
$\text{N}_{90}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$	12,9	0,35	10,3	0,28	7,8	0,21
$\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{80}$	14,1	0,38	10,7	0,29	8,2	0,22
$\text{N}_{90}\text{P}_{40}\text{K}_{100}$	13,2	0,36	9,9	0,27	7,4	0,20
$\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$	14,4	0,39	10,9	0,30	8,5	0,23

Для обеспечения нормативных требований ТР ТС плотность загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы не должна превышать 13 кБк/м<sup>2</sup> (0,36 Ки/км<sup>2</sup>) при возделывании сорго сахарного, 12 кБк/м<sup>2</sup> (0,32 Ки/км<sup>2</sup>) ССГ и 8 кБк/м<sup>2</sup> (0,27 Ки/км<sup>2</sup>) суданской травы (табл. 2). Применение  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$  позволяет использовать дерново-подзолистые супесчаные почвы с плотностью загрязнения до 14,4 кБк/м<sup>2</sup> (0,39 Ки/км<sup>2</sup>) для выращивания сорго сахарного, отвечающего требованиям РДУ и до 20 кБк/м<sup>2</sup> (0,53 Ки/км<sup>2</sup>), соответствующего ТР ТС. Применение  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$  в посевах ССГ обеспечивает получение нормативно чистой зеленой массы ССГ при плотности загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  до 10,9 кБк/м<sup>2</sup> (0,30 Ки/км<sup>2</sup>), отвечающей РДУ и ТР ТС, соответственно. При использовании этой же системы

удобрений в посевах суданской травы зеленая масса пригодна для скармливания КРС и получения цельного молока при плотности загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  8,5 кБк/м<sup>2</sup> (0,23 Ки/км<sup>2</sup>) в соответствии с РДУ и до 12 кБк/м<sup>2</sup> (0,31 Ки/км<sup>2</sup>) в соответствии с ТР ТС.

Таблица 2. Предельные плотности загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы  $^{90}\text{Sr}$  для производства зеленой массы сорговых культур, отвечающей требованиям ТР ТС

Система удобрений	Сорго сахарное		ССГ		Суданская трава	
	кБк/м <sup>2</sup>	Ки/км <sup>2</sup>	кБк/м <sup>2</sup>	Ки/км <sup>2</sup>	кБк/м <sup>2</sup>	Ки/км <sup>2</sup>
Контроль	13	0,36	12	0,32	8	0,23
P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	18	0,48	14	0,38	10	0,28
P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	20	0,53	14	0,39	11	0,29
P <sub>40</sub> K <sub>100</sub>	18	0,49	14	0,37	10	0,27
P <sub>60</sub> K <sub>100</sub>	19	0,51	14	0,39	10	0,28
N <sub>70</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	18	0,49	14	0,38	11	0,29
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	19	0,52	14	0,39	11	0,30
N <sub>70</sub> P <sub>40</sub> K <sub>100</sub>	19	0,50	13	0,36	10	0,27
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>100</sub>	19	0,52	14	0,39	11	0,30
N <sub>90</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	17	0,47	14	0,37	11	0,29
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	19	0,52	14	0,39	11	0,30
N <sub>90</sub> P <sub>40</sub> K <sub>100</sub>	18	0,48	13	0,36	10	0,27
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>100</sub>	20	0,53	15	0,40	12	0,31

Ограничения по плотности загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы  $^{90}\text{Sr}$  для производства зелёной массы, идущей на корм дойному стаду с целью производства молока-сырья, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Предельные плотности загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы  $^{90}\text{Sr}$  для производства зеленой массы сорговых культур для скармливания КРС для получения молока-сырья на переработку на масло

Система удобрений	Сорго сахарное		ССГ		Суданская трава	
	кБк/м <sup>2</sup>	Ки/км <sup>2</sup>	кБк/м <sup>2</sup>	Ки/км <sup>2</sup>	кБк/м <sup>2</sup>	Ки/км <sup>2</sup>
Контроль	49	1,34	43	1,17	31	0,84
P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	66	1,78	52	1,40	38	1,04
P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	73	1,96	53	1,43	40	1,07
P <sub>40</sub> K <sub>100</sub>	67	1,82	51	1,38	37	1,01
P <sub>60</sub> K <sub>100</sub>	70	1,89	53	1,44	39	1,04
N <sub>70</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	67	1,81	52	1,41	39	1,06
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	71	1,91	53	1,44	41	1,12
N <sub>70</sub> P <sub>40</sub> K <sub>100</sub>	69	1,86	50	1,34	38	1,02
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>100</sub>	71	1,92	54	1,45	40	1,09
N <sub>90</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	64	1,74	51	1,39	39	1,06
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	71	1,91	54	1,45	41	1,10
N <sub>90</sub> P <sub>40</sub> K <sub>100</sub>	66	1,78	49	1,33	37	1,00
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>100</sub>	72	1,95	55	1,48	43	1,15

Для получения молока-сырья пригодны дерново-подзолистые супесчаные почвы с плотностью загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  менее 49 кБк/м<sup>2</sup> (1,34 Ки/км<sup>2</sup>) для возделывания на фоне без удобрений сорго сахарного, менее 43 кБк/м<sup>2</sup> (1,17 Ки/км<sup>2</sup>) для выращивания ССГ и менее 31 кБк/м<sup>2</sup> (0,84 Ки/км<sup>2</sup>) для производства суданской травы.

Применение N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub> позволяет использовать дерново-подзолистые супесчаные почвы с плотностью загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  до 72 кБк/м<sup>2</sup> (1,95 Ки/км<sup>2</sup>) для выращивания сорго сахарного, 55 кБк/м<sup>2</sup> (1,48 Ки/км<sup>2</sup>) ССГ. При использовании вышеуказанной системы удобрений в посевах суданской травы зеленая масса пригодна для скармливания КРС и получения молока-сырья при плотности загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  не более 43 кБк/м<sup>2</sup> (1,15 Ки/км<sup>2</sup>).

Таким образом в Гомельской области для выращивания сорго сахарного, зеленая масса которого отвечает требованиям РДУ для получения молока цельного, пригодно 188,7 тыс. га земель, ССГ – 166,0 тыс. га, суданской травы – 115 тыс. га; для получения молока-сырья на переработку – 261,2 тыс. га, 260,4 тыс. га и 256,8 тыс. га соответственно. Непригодными для выращивания сорговых культур с радиологической точки зрения являются всего 374,2 га земель сельскохозяйственного назначения, плотность загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  которых находится в пределах 1,97–3,0 Ки/км<sup>2</sup>. Это является основанием для заключения о возможности включения сорговых культур в структуру посевных площадей на территории радиоактивного загрязнения.

#### Заключение

Сравнительная оценка сорговых культур по интенсивности миграции радионуклидов в звене почва-растение свидетельствует об отсутствии существенных различий по Кп  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу, убранную в фазу начала выброса метелки. Кп  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу находятся на уровне у сорго сахарного  $6,8 \times 10^{-2}$ ,

ССГ –  $6,5 \times 10^{-2}$ , у суданской травы  $6,4 \times 10^{-2}$  Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>. По Кп <sup>90</sup>Sr в зеленую массу сорговые культуры достоверно различаясь, располагаются в следующем возрастающем ряду: сорго сахарное 3,74, ССГ – 4,26, суданская трава – 5,93 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>.

Фактором, сдерживающим поступление радионуклидов в растения, является применение минеральных удобрений, позволяющим снизить Кп <sup>137</sup>Cs в зеленую массу сорго сахарного до 25 %, ССГ – до 31 %, суданской травы – до 17 % по сравнению с контролем. При увеличении дозы калия Кп <sup>137</sup>Cs в зеленую массу сорговых культур уменьшается на 4–8 %. При использовании N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub> в посевах всех изучаемых культур Кп <sup>137</sup>Cs в зеленую массу наименьший.

Внесение минеральных удобрений обеспечивает уменьшение Кп <sup>90</sup>Sr в зеленую массу сорго сахарного по сравнению с контролем до 32 %, ССГ – до 21 %, суданской травы – до 27 %. При увеличении дозы фосфора Кп <sup>90</sup>Sr снижается на 3 и 7 %. Минимальный Кп <sup>90</sup>Sr в зеленую массу сорго сахарного, ССГ и суданской травы обеспечивает N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub>.

Плотность загрязнения дерново-подзолистой почвы, характеризующейся среднекислой реакцией среды, средним содержанием гумуса и калия и высоким фосфора, не ограничивает возделывание сорговых культур на зеленую массу (фаза начала выброса метелки). Для сорго сахарного наименьшие ограничения по плотности загрязнения почвы <sup>90</sup>Sr 14,4 кБк/м<sup>2</sup> для получения молока цельного и 72 кБк/м<sup>2</sup> для молока-сырца на переработку на масло; для ССГ – 10,9 кБк/м<sup>2</sup> и 55 кБк/м<sup>2</sup>, соответственно, для суданской травы – 8,5 кБк/м<sup>2</sup> и 43 кБк/м<sup>2</sup>, соответственно, обеспечивает N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
2. Методические указания по определению <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в почвах и растениях / Центр. науч.-исслед. ин-т агрохим. обслуживания сел. хоз-ва; А. В. Кузнецов [и др.]. – М.: ЦИНАО, 1985. – 64 с.
3. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Нац. акад. наук Беларуси, М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Ин-т почвоведения и агрохимии; Н. Н. Цыбулько [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.
4. О безопасности кормов и кормовых добавок: ТР 201\_/00\_/ТС [Электронный ресурс] / Комис. Тамож. союза. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200083875>. – Дата доступа: 09.04.2020.