

И.В. ЯНОЧКИН, С.В. СМЯТКИНА, Ю.Е. БУРКОВСКИЙ

МЕТОДИКА ПРИЖИЗНЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ЛОШАДЕЙ

*ГПНИ «Полесский государственный радиационно-экологический
заповедник», г. Хойники, Республика Беларусь*

Апробация экспресс – методики на лошадях разных половозрастных групп в производственных условиях и статистический анализ результатов измерений, доказал возможность применения радиометра-дозиметра МКС-01М «Советник», для прижизненных радиометрических измерений удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани лошадей.

Ключевые слова: лошади, радиометр-дозиметр МКС-01М «Советник», ^{137}Cs .

I.V. YANOCKIN, S.V. SMYATKINA, Y.E. BURKOVSKIY

METHOD FOR INTRAVITAL DETERMINATION OF ^{137}Cs LEVEL IN HORSE MUSCLE TISSUE

*State Environmental Research Institution Polesye State Radiation and Ecological Reserve,
Khoyniki, Republic of Belarus*

Testing of express methods on horses of different age and gender groups under production conditions and statistical analysis of measurement results proved possibility of using the MKS-01M Sovetnik radiometer-dosimeter for intravital radiometric measurements of ^{137}Cs specific activity in horse muscle tissue.

Keywords: horses, radiometer-dosimeter MKS-01M Sovetnik, ^{137}Cs .

Введение. Важным и неотъемлемым компонентом системы производственного радиационного контроля является прижизненное определение содержания ^{137}Cs в мышечной ткани крупного рогатого скота и лошадей. Однако методики, которая должна была использоваться для прижизненной радиометрии лошадей, в сельскохозяйственных предприятиях, расположенных на территории радиоактивного загрязнения, не было разработано. Поэтому и результаты измерений, соответственно, не признаются в установленном порядке. Разрабатываемая методика должна обеспечить надёжное прижизненное определение содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лошадей, с уровнями загрязнения ^{137}Cs как выше, так и ниже допустимого предела, установленного РДУ-99 (370 Бк/кг), а также технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2013 «О безопасности пищевой продукции» (200 Бк/кг) [1, 2, 3].

Методика для прижизненной радиометрии лошадей должна основываться на результатах контролируемого эксперимента с лошадьми и апробации её на животных в производственных условиях конеферм,

расположенных на территории радиоактивного загрязнения, а также на лошадях, поступающих на мясоперерабатывающие предприятия [4, 5].

В настоящих исследованиях **ставилась цель** – разработать методику прижизненного определения содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лошадей.

Материал и методика исследований. Эксперимент по разработке экспресс-методики для прижизненной радиометрии лошадей проведён на конеферме «Воротец», расположенной в экспериментально-хозяйственной зоне заповедника (ПГРЭЗ), на трёх группах лошадей. В каждую группу отобрали по два жеребчика русской тяжеловозной породы, 3-летнего возраста, живой массой 400 кг. Лошади всех групп находились в одинаковых условиях кормления и содержания согласно принятой технологии выращивания животных на конеферме. Поение животных осуществлялось из поилок в денниках. Рацион опытных групп лошадей состоял из сена злакового (8 кг/сутки), овса (3 кг/сутки) и соломы ячменной (1,5 кг/сутки). Удельная активность суточного рациона ^{137}Cs I опытной группы – 30 кБк/сутки, II опытной группы – 15 кБк/сутки и III опытной группы – 2 кБк/сут.

Продолжительность эксперимента составляла десять суток. Удельная активность ^{137}Cs в кормах рациона подопытных животных определялась на γ -спектрометрическом комплексе «Санбегга» с погрешностью не более 20 %. Измерение прижизненной концентрации ^{137}Cs в мышечной ткани подопытных лошадей проводилось с помощью радиометра-дозиметра МКС-01М «Советник» ежесуточно.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Для решения поставленной задачи с помощью радиометра-дозиметра МКС-01М «Советник» на конеферме «Воротец» выбраны три площадки для проведения прижизненной радиометрии лошадей с разным уровнем фонового гамма-излучения (мощности дозы). Значения фона гамма-излучения на выбранных трёх площадках различались друг от друга на 25 %. Измерения скорости счёта гамма-фона проводились с 5 % значением погрешности.

На каждой площадке выполнялось измерение фонового гамма-излучения потому, что отсутствует гарантия постоянства гамма-фона внутри помещения конефермы. Более того, непосредственно перед проведением эксперимента на выбранных площадках фон гамма-излучения перепроверялся. Во время контролируемого эксперимента поочередно размещали 6 подопытных лошадей для выполнения измерений на каждой из 3 выбранных контрольных площадках (18 измерений в каждые сутки эксперимента). Гамма-фон на всех контрольных площадках не превышал $0,2 \text{ мкЗв} \cdot \text{час}^{-1}$, а скорость счёта была не более $30 \text{ имп} \cdot \text{с}^{-1}$. Согласно действующим допустимым уровням РДУ-99, содержание ^{137}Cs в мышечной ткани лошадей не должно превышать 370

Бк·кг⁻¹. Поэтому принято решение в ходе эксперимента довести уровни содержания ¹³⁷Cs в мышечной ткани подопытных животных до значений, близких к 150, 225 и 300 Бк·кг⁻¹. В конце эксперимента содержание ¹³⁷Cs в мышечной ткани у всех трёх подопытных животных не превысило РДУ-99 (370 Бк·кг⁻¹) с учётом погрешностей измерений (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты прижизненной оценки содержания ¹³⁷Cs в начале и в конце эксперимента

Кличка лошади	В мышечной ткани лошадей, Бк·кг ⁻¹ в начале эксперимента			В мышечной ткани лошадей, Бк·кг ⁻¹ в конце эксперимента		
	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.
Байкал	148±6	156±5	152±5	158±6	192±5	302±5
Скрипач	152±4	163±7	158±6	152±4	183±7	300±6
Нил	149±5	150±8	150±7	225±5	235±8	225±7
Градус	156±9	163±7	160±8	235±9	245±7	230±8
Парнас	< 80	< 80	< 80	120±6	131±5	130±5
Свист	< 80	< 80	< 80	142±5	153±7	150±6

После контролируемой заправки подопытных животных ¹³⁷Cs на конеферме «Воротец» и доставки на мясоперерабатывающее предприятие провели убой по одному животному из каждой группы.

Уровень фонового гамма-излучения оценивался путём измерения скорости счёта (имп·с⁻¹) в пике полного поглощения фотонов ¹³⁷Cs с энергией 661 кЭв. Измерения проводились радиометром-дозиметром МКС-01М «Советник» на высоте 1,2 м на пяти площадках, три из которых находилась на территории конефермы, а две – на территории мясоперерабатывающего предприятия.

Путём трёхкратной повторности измерений каждой из шести лошадей на каждой из пяти контрольных площадок установлено, что при скорости счёта фонового излучения выше 20 имп·с⁻¹ резко возрастает выборочная дисперсия результатов прижизненных измерений удельной активности ¹³⁷Cs. Поэтому принято решение не проводить измерения и не использовать в расчётах данные, полученные в случаях прижизненной радиометрии лошадей на площадках с повышенным фоном. В последнем столбце таблицы 2 приведены результаты лабораторных испытаний проб конины, отобранных со средней ягодичной мышцы на проведение радиационного контроля. Образцы проб мышечной ткани были промаркированы с указанием шифра места отбора пробы (включая клички лошадей) и направлены в лабораторию массовых анализов ГНУ «Институт радиобиологии» для проведения прецизионных спектрометрических измерений. Исходные результаты трёх циклов прижизненной измерений подопытных лошадей радиометром-

дозиметром МКС-01М «Советник» на перерабатывающем предприятии представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты прижизненной оценки содержания ^{137}Cs перед убоем лошадей (средние трёхкратных измерений) и лабораторных исследований конины, Бк·кг⁻¹

Кличка	На конеферме ПГРЭС, фон 21 имп·с ⁻¹			На эстакаде приемного пункта, фон 12 имп·с ⁻¹			В убойном цехе, фон 17 имп·с ⁻¹			Лабораторные испытания конины, Бк·кг ⁻¹	
	средн.	мин.	макс.	средн.	мин.	макс.	средн.	мин.	макс.	средн.	ошибка
Байкал	233	152	315	209	136	282	142	92	191	220	25,3
Нил	199	130	269	194	126	261	144	93	194	188	23,5
Свист	87	57	117	148	96	200	88	58	119	142	17,7

Особенно важно учитывать возможность различного представления результата выполненного измерения при его сопоставлении с допустимым либо контрольным уровнем содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лошадей. Например, если результат измерения представлен в виде «290 Бк·кг⁻¹ ± 35%», то можно достаточно легко ошибиться, посчитав, что контролируемый объект удовлетворяет нормативу 370 Бк·кг⁻¹ для использования конины на пищевые цели [6].

При разработке экспресс-методики учитывали, что программное обеспечение радиометра может представлять результат измерения, в том числе и его погрешность, в Бк·кг⁻¹, интервальном виде. Перед началом измерений в память прибора вводится численное значение контролируемого норматива. По завершению каждого измерения автоматически производится сопоставление результата измерения с величиной введённого в программу норматива и на дисплей прибора выводится сообщение о результате такого сравнения, представлены исходные результаты трёх циклов прижизненной измерений радиометром-дозиметром МКС-01М «Советник» на перерабатывающем предприятии. Количественная оценка правильности разрабатываемой методики основывалась на оценке систематической погрешности, обусловленной анатомическим различием лошадей и крупного рогатого скота (КРС), на фоне значительной случайной погрешности. Наилучшая несмещённость результатов лабораторных испытаний конины и прижизненной радиометрии лошадей прибором, откалиброванным для КРС, отмечается для измерений, проведённых на площадке с минимальным фоном. Различия средних не превышают 5 %.

Все результаты (YA) в полученных экспериментальных выборках прошли тест на соответствие нормальному распределению по Q-критерию:

$$\left| \frac{YA - YA_{\text{ближ}}}{YA_{\text{макс}} - YA_{\text{мин}}} \right| < Q(0,95,3) = 0,97,$$

где $YA_{\text{ближ}}$ – ближайшее к YA значение удельной активности в выборке;

0,97 – табличное значение Q-критерия при доверительной вероятности $p = 0,95$ и объёме выборки, равным 3.

Установлено, что выборочные средние значения удельной активности $\overline{YA}_{\text{ср}}$, полученные методом прижизненной радиометрии, удовлетворяют t-критерию:

$$\left| \frac{\overline{YA}_{\text{ср}} - YA_{\text{ср}}^{\text{пр}}}{\sigma} \right| \cdot \sqrt{n} < t(p, f) = 4,3,$$

где $\overline{YA}_{\text{ср}}^{\text{пр}}$ – удельная активность, установленная путём отбора проб конины; σ – стандартное отклонение выборки;

n – объём выборки;

t – табличное значение критерия Стьюдента при доверительной вероятности $p = 0,95$ и числе степеней свободы $f = n - 1 = 2$.

В целях проверки гипотез, связанных с оценками выборочных дисперсий σ_i^2 , проведён дисперсионный анализ результатов полученным методом прижизненных радиометрических измерений удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани лошадей и методом, основанным на отборе и лабораторных испытаниях проб конины. Дисперсии вычислялись из случайных величин, поэтому сами также являлись случайными величинами. В отличие от средних значений дисперсии подчиняются распределению χ^2 . Установлено, что дисперсии всех выборок, полученных методом прижизненной радиометрии $\sigma_{\text{макс}}^2$, удовлетворяют одностороннему критерию Фишера (F-критерию):

$$\frac{\sigma_{\text{макс}}^2}{\sigma_{\text{мин}}^2} < F(\alpha, f(\sigma_{\text{макс}}^2), f(\sigma_{\text{мин}}^2)),$$

где α – уровень значимости (принимался равным 0,05);

f – число степеней свободы, равное $(n - 1)$;

n – объём выборки;

F – табличное значение критерия Фишера.

Проведённый статистический анализ результатов измерений доказал возможность применения радиометра-дозиметра МКС-01М «Советник» для прижизненных радиометрических измерений удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани лошадей. Систематическая погрешность показаний прибора, обусловленная различиями животных (лошадей и крупного рогатого скота), пренебрежимо мала по сравнению со случайной погрешностью.

Также установлено, что дисперсия результатов прижизненных измерений удельной активности ^{137}Cs при расположении детектора в области лопатки и нижней части бедра значимо больше, чем результатов при контакте с верхней частью бедра. Таким образом, в отличие от крупного рогатого скота, ввиду анатомических особенностей лошадей, нижнюю часть бедра и верхнюю часть лопатки не рекомендуется использовать в качестве контрольных областей.

Заключение. Апробация экспресс-методики на лошадях в производственных условиях коневодческих ферм сельскохозяйственных предприятиях, расположенных на территории радиоактивного загрязнения и статистический анализ результатов измерений, доказал возможность применения радиометра-дозиметра МКС-01М «Советник» для прижизненных радиометрических измерений удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани лошадей.

В целях оптимизации времени контроля лошадей для проведения измерений необходимо выбирать контрольную площадку, на которой величина мощности дозы гамма-излучения не более 0,12 мкЗв/ч (12 мкР/ч).

Литература

1. Измерения удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани животных без отбора проб. Рекомендация по применению радиометра-дозиметра МКС-01 «Советник». ТИМ-01-03 / ЗАО «ТИМЕТ». – Минск, 2006. – 24 с.
2. Методика выполнения измерений МВИ. МН 1861-2003 «Удельная активность ^{137}Cs в мышечной ткани крупного рогатого скота. Экспрессное определение радиометрическим методом».
3. Рекомендации по производству товарной конины на территориях радиоактивного загрязнения / В. С. Аверин [и др.]; Институт радиологии. – Гомель, 2005. – 6 с.
4. Оценка параметров накопления и выведения ^{137}Cs из мышечной ткани лошадей / В. С. Аверин, И. В. Яночкин, А. А. Царенок, Р. А. Ненашев // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Жодино, 2005. – Т. 40. – С. 147-152.
5. Телицына, Н. В. Ведение коневодства на территориях радиоактивного загрязнения / Н. В. Телицына, А. А. Царенок // Сахаровские чтения 2008 года: экологические проблемы XXI века : материалы 8-й междунар. науч. конф., г. Минск, 22-23 мая 2008 г. – Минск : МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2008. – С. 215.
6. ГН 10-117-99 «Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов ^{137}Cs и Sr^{90} в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)»: утв. Министерством здравоохранения Республики Беларусь и введены в действие с 26.04.1999.

Поступила 11.03.2020 г.