

УДК 639.111.16:[581.5:539.16]

А. В. Гулаков

Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины

НАКОПЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ДОЗОБРАЗУЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМЕ ЛОСЯ, ОБИТАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Представлены данные многолетних исследований содержания радионуклида ^{137}Cs в организме лося, добытого на территории радиоактивного загрязнения. Отмечены существенные колебания содержания ^{137}Cs в органах и тканях животных за период наблюдения. Результаты имеют большое практическое значение для охотничьего хозяйства на радиоактивно загрязненных территориях.

А. В. Гулаков

Гомельський державний університет ім. Франциска Скорини

НАКОПИЧЕННЯ ОСНОВНИХ ДОЗОТВІРНИХ РАДІОНУКЛІДІВ В ОРГАНІЗМІ ЛОСЯ, ЩО МЕШКАЄ НА ТЕРИТОРІЇ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Наведено дані багаторічних досліджень вмісту радіонуклиду ^{137}Cs в організмі лося, здобутого на території радіоактивного забруднення. Відмічено суттєві коливання вмісту ^{137}Cs в органах і тканинах тварин за період спостереження. Результати мають велике практичне значення для мисливського господарства на радіоактивно забруднених територіях.

A. V. Gulakov

Francisk Scorina Gomel' State University

ACCUMULATION OF THE BASIC DOSE-GENERATING RADIONUCLIDES IN ELKS INHABITED THE RADIOACTIVE CONTAMINATED AREAS

The data of long-term study of the ^{137}Cs content in the elks inhabited the radioactive contaminated areas are presented. Essential fluctuations of the ^{137}Cs level in the bodies are noted. It is shown that the bioaccumulation of the radionuclide in a muscular tissue depends on its content in the animals' food. The obtained results have the important practical value for hunting in radioactive polluted territories.

Введение

Катастрофа на Чернобыльской атомной станции повлияла и продолжает отрицательно влиять на все сферы жизнедеятельности пострадавших регионов. Экологические проблемы, которые возникли после аварии, носят разноплановый характер. Для ведения охотничьего хозяйства на радиоактивно загрязненной территории особенно важным является вопрос, связанный с содержанием радионуклидов в организме охотничье-промысловых животных. Дикие копытные являются существенным компо-

нением лесных биоценозов и как фитофаги могут служить достоверными индикаторами степени загрязнения среды.

Участие животных в биологическом круговороте радионуклидов выражается, главным образом, в накоплении изотопов и перемещении их по трофическим цепям. Сравнительно небольшой удельный вклад животных в биогенном переносе радионуклидов через пищевые цепи и мигрирующими животными в значительной степени компенсируется деятельностью землероев, перераспределяющих почву вместе с радионуклидами [11]. Важность проведения радиоэкологических исследований связана также с тем, что, несмотря на длительность срока, прошедшего с момента аварии, содержание радионуклидов у животных, обитающих в наиболее загрязненных биоценозах, в тысячи раз превышает доаварийные значения [1; 4; 6].

Результаты определения содержания радионуклидов у диких животных показывают, что главными абиотическими факторами, от которых зависит аккумуляция радиоизотопов, являются количество, формы существования, характер распределения и особенности поведения радионуклидов в среде обитания.

Показатели накопления радионуклидов дикими животными в зависимости от их экологических и биологических особенностей можно выявить только при проведении экспериментов в лабораторных условиях. При крупномасштабных авариях, приводящих к загрязнению биогеоценозов смесью радиоизотопов, они выражены в меньшей степени из-за сложности обнаружения в условиях сильной неоднородности радиоактивного загрязнения экосистем. Вследствие этого возникает необходимость изучения поведения радионуклидов в трофической цепи животных, их биологической доступности в зависимости от видовой принадлежности, сезонных показателей, возрастной и половой структуры.

Поэтому за годы, прошедшие после аварии, большое внимание уделялось изучению уровней накопления радионуклидов видами, которые являются объектами спортивной охоты, а также имеют ресурсное значение, и продукция из них либо употребляется в пищу, либо используется для получения товаров легкой промышленности [13; 14; 15].

Материал и методы исследований

Основным объектом исследований являлся лось (*Alces alces* Linnaeus, 1758), обитающий на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения. Наиболее загрязненный радионуклидами участок находился в зоне отчуждения аварийного выброса Чернобыльской АЭС в районе деревень Борщевка, Молочки, Погонное, Радин, Аревичи, Дронки Хойникского района Гомельской области, где уровень загрязнения территории ^{137}Cs составлял 1 100–8 184 и ^{90}Sr – 185–1 633 кБк/м². Территория исследования расположена в междуречье рек Припять и Днепр на расстоянии 10–35 км от Чернобыльской АЭС.

Наряду с зоной отчуждения отбор проб также проводили на территории зоны отселения Брагинского района Гомельской области в окрестностях деревень Савичи, Пучин, Жердное. Плотность загрязнения участка по ^{137}Cs находилась в пределах 185–1 480, по ^{90}Sr – 74–420 кБк/м². Он расположен в междуречье рек Припять и Днепр на расстоянии 30–35 км от Чернобыльской АЭС.

Контрольным районом служила территория Гомельского района Гомельской области, расположенная около с. Кравцовка на границе с Черниговской областью, на притоке реки Днепр (р. Сож). Данная местность находится на расстоянии 40 км от г. Гомель и около 100 км от Чернобыльской АЭС. Уровень загрязнения территории ^{137}Cs составлял 18,5–37,0, ^{90}Sr – 1,0–1,85 кБк/м².

Всего за время исследования получены пробы от 112 животных, обитающих на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения: из них 58 голов отстреляны в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, 34 – в зоне отселения и 20 животных – в контрольном районе.

От диких млекопитающих брали пробы мышечной ткани и содержимого рубца. Образцы отбирали массой 0,1–0,5 кг. Измерения удельной активности ^{137}Cs в пробах животных проводили гамма-спектрометрическим методом по стандартным методикам [10]. Стронций определяли радиохимическим методом [12].

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 представлены средние значения содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лося, добытого на территории зоны отчуждения после аварии на Чернобыльской АЭС в период с 1991 по 2008 год. Животные, добытые в зоне отчуждения аварийного выброса Чернобыльской АЭС, имели довольно высокое содержание ^{137}Cs в организме.

Таблица 1

Средние значения содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лося, добытого на территории зоны отчуждения

Годы исследования	Количество животных, голов	Содержание ^{137}Cs в мышечной ткани, кБк/кг			Коэффициент вариации, %
		среднее	<i>min</i>	<i>max</i>	
1991	3	7,15 ± 1,08	5,18	8,88	26,04
1992	3	1,44 ± 0,51	0,83	2,46	62,04
1993	3	6,16 ± 1,10	4,65	8,30	30,92
1994	2	6,78	6,52	7,03	5,32
1995	2	8,02	4,35	11,7	64,76
1996	6	15,02 ± 2,73	9,33	26,40	44,52
1997	4	9,41 ± 3,09	6,23	18,60	65,67
1998	4	3,18 ± 1,16	1,08	6,32	72,86
1999	2	9,66	8,62	10,70	15,23
2000	2	3,83	2,30	5,36	56,49
2001	2	12,73	8,26	17,20	49,66
2002	6	2,54 ± 0,60	1,38	4,84	57,75
2003	5	8,09 ± 4,37	1,05	24,49	120,71
2004	4	9,43 ± 5,19	0,57	53,72	174,13
2006	5	4,63 ± 3,34	0,75	17,95	161,06
2007	5	6,88 ± 1,32	3,58	10,13	42,93

Средние показатели удельной активности данного радионуклида в мышечной ткани на протяжении первых пяти лет исследований находились практически на одном и том же уровне: колебались около 6–8 кБк/кг сырого вещества. Исключением стал 1992 год, когда в зоне отчуждения были добыты животные с наименьшим уровнем радиоактивного загрязнения мышечной ткани ($1,44 \pm 0,51$ кБк/кг). В последующие годы наблюдалось снижение содержания ^{137}Cs в мышечной ткани животных до $2,54 \pm 0,60$ кБк/кг. В 2001–2003 годах на территории зоны отчуждения отмечались колебания удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани животных. Так, в 2001 году среднее содержание ^{137}Cs в мышечной ткани животного достигало 12,73 кБк/кг, в 2002-м снизилось до $2,54 \pm 0,60$ кБк/кг, а в 2003-м снова возросло до $8,09 \pm 4,37$ кБк/кг. В последние три года среднее значение содержания радионуклида в мышечной ткани лося находилось в пределах 4,63–9,43 кБк/кг. На протяжении 2004 года в зоне отчуждения отстреляны животные как с наименьшим содержанием ^{137}Cs в мышечной ткани (0,57 кБк/кг), так и с наибольшим (53,71 кБк/кг) за весь период наблюдения. Среднее содержание иссле-

дуремого радионуклида в мышечной ткани добытых животных колебалось в широких границах. Коэффициент вариации данного признака находился в пределах 5,2–174,1 %.

Удельная активность ^{137}Cs в мышечной ткани лося, обитающего на территории зоны отчуждения, за весь период исследований различалась почти в 95 раз – от 0,57 до 53,71 кБк/кг, что связано с высокой неоднородностью загрязнения территории зоны отчуждения основными дозообразующими радионуклидами. Среднее содержание радионуклида в мышечной ткани лося, добытого на территории зоны отчуждения, за весь период наблюдений составило 7,18–0,91 кБк/кг.

Уровень загрязнения мышечной ткани ^{137}Cs лосей, добытых на территории зоны отселения, за весь период исследований был более стабильным (табл. 2).

Таблица 2

Средние значения содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лося, добытого на территории зоны отселения

Годы исследования	Количество животных, голов	Содержание ^{137}Cs в мышечной ткани, кБк/кг			Коэффициент вариации, %
		среднее	<i>min</i>	<i>max</i>	
1991	3	3,02 ± 0,49	2,03	3,53	28,39
1992	3	3,38 ± 0,35	2,86	4,05	17,91
1993	3	3,07 ± 1,03	1,25	4,83	57,45
1994	3	2,55 ± 0,34	2,03	3,19	22,39
1995	8	2,34 ± 0,69	0,19	5,70	83,01
1996	2	2,78	2,43	3,12	17,58
1997	6	2,16 ± 0,44	0,73	3,63	49,48
1998	2	2,09	1,54	2,65	37,46
1999	2	3,20	2,80	3,60	17,68
2000	2	1,75	1,30	2,20	36,37

Наибольший уровень содержания радионуклида в организме животных в зоне отселения отмечен в 1992-м (3,38 ± 0,35 кБк/кг), а наименьший – в 2000 году (1,75 кБк/кг). Животные с максимальным и минимальным уровнем удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани на данной территории отстреляны в 1995 году (5,70 и 0,19 кБк/кг). В последние годы исследований наблюдается тенденция снижения содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лосей, добытых на территории зоны отселения [6]. Коэффициент вариации содержания исследуемого радионуклида в мышечной ткани добытых животных находился в пределах 17,58–83,01 %. Удельная активность мышечной ткани лося, обитающего на территории зоны отселения, за весь период исследований различалась в 30 раз (от 0,19 до 5,70 кБк/кг).

Среднее содержание данного радионуклида в мышечной ткани лося, добытого на территории зоны отселения, за весь период наблюдения составила 3,26–0,66 кБк/кг, что в 2,0 раза меньше ($p < 0,05$), чем у животных, добытых в зоне отчуждения.

Наименьшее содержание ^{137}Cs отмечено в мышечной ткани лосей, обитающих на территории контрольного района (табл. 3).

Из-за небольшой численности популяций лося в контрольном районе в каждый год исследования, в основном, добывалось только два или три животных, а в некоторые годы удавалось отобрать пробы только от одного животного. В контрольном районе отмечена незначительная тенденция к снижению удельной активности мышечной ткани по ^{137}Cs с 0,5–0,8 кБк/кг в 1991–1993 годах до 0,1–0,3 кБк/кг в 2000–2003 годах. Минимальный уровень содержания радионуклида (0,11 кБк/кг) отмечен в 1998 году.

Средние значения содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лося, добытого на территории контрольного района

Годы исследования	Количество животных, голов	Содержание ^{137}Cs в мышечной ткани, кБк/кг			Коэффициент вариации, %
		среднее	<i>min</i>	<i>max</i>	
1991	2	0,51	0,44	0,57	18,20
1992	2	0,69	0,65	0,72	7,23
1993	2	0,37	0,59	0,92	30,91
1994	3	0,44 ± 0,04	0,38	0,52	16,00
1995	1	0,62	–	–	–
1996	1	0,49	–	–	–
1997	2	0,45	0,36	0,53	27,01
1998	2	0,18	0,13	0,23	35,75
1999	1	0,21	–	–	–
2000	3	0,28 ± 0,05	0,16	0,34	36,42
2003	1	0,11	–	–	–

Наиболее высокий уровень содержания ^{137}Cs в мышечной ткани для лося, добытого в контрольном районе, отмечен в 1993 году (0,92 кБк/кг). Этот показатель превышает нормативные значения, установленные для мяса диких животных (500 Бк/кг) почти вдвое. В последнее время содержание ^{137}Cs в мышечной ткани лосей, отстрелянных на территории контрольного района, находится в пределах 0,11–0,34 кБк/кг.

Коэффициент вариации накопления исследуемого радионуклида в мышечной ткани лосей, отстрелянных на территории контрольного района, изменялся в пределах 7,23–36,42 %. То есть разброс данных по содержанию ^{137}Cs был не таким большим, как у лосей, добытых на территории зоны отчуждения и отселения. Это связано с более однородным уровнем радиоактивного загрязнения исследуемой территории. Удельная активность мышечной ткани лося, обитающего на территории контрольного района, за весь период исследований различалась в 8,4 раза – от 0,11 до 0,92 кБк/кг.

Средняя величина содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лося, добытого на территории контрольного района, за весь период наблюдения составила 0,43–0,05 кБк/кг, что в 16,7 раза меньше ($p < 0,001$), чем у животных, добытых в зоне отчуждения, и в 7,6 раза меньше ($p < 0,01$), чем у животных, отстрелянных на территории зоны отселения.

Поскольку абсолютные данные удельной активности содержания ^{137}Cs в мышечной ткани диких промысловых животных не дают возможности судить о закономерностях накопления (кривые распределения являются ненормальными вследствие большого разброса данных), нами проведена нормализация путем логарифмирования. В таблице 4 представлены средние логарифмированные значения содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лося, обитающего на территории с различным уровнем радиоактивного загрязнения. Логарифмирование исходных показателей позволило существенно приблизить их распределение к нормальному. Коэффициент вариации в абсолютных значениях колебался от 9,9 % в контрольном районе до 13,3 % в зоне отселения.

Средние значения удельной активности радионуклида за время наблюдения составили $3,58 \pm 0,06 \log \text{Бк/кг}$, зоны отселения – $3,32 \pm 0,08 \log \text{Бк/кг}$ и контрольного района – $2,57 \pm 0,06 \log \text{Бк/кг}$. Наблюдается достоверное изменение содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лося в зависимости от плотности загрязнения территории местообитания. Причем чем более неоднороден уровень загрязнения территории существования животных, тем больше интервал полученных значений. В зоне отчуждения он составлял 2,17, в то время как в зоне отселения 1,97, а в контрольном районе 0,80.

Средние показатели удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани лося, обитающего на территории радиоактивного загрязнения

Территория	Содержание ^{137}Cs в мышечной ткани, \log Бк/кг				Коэффициент вариации, %
	среднее	<i>min</i>	<i>max</i>	интервал	
зона отчуждения	$3,58 \pm 0,06$	2,92	5,09	2,17	12,16
зона отселения	$3,32 \pm 0,08$	2,27	4,24	1,97	13,28
контроль	$2,57 \pm 0,06$	2,04	2,84	0,80	9,90

Соотношение поступающих в организм млекопитающих радионуклидов определяется уровнем их содержания в окружающей среде и эколого-биологическими особенностями видов животных разных систематических и экологических групп, видовое разнообразие которых обуславливает очень широкий спектр путей поступления радионуклидов в организм животного [8; 9]. Основное количество радионуклидов поступает в организм животных в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС через пищеварительный тракт. Следует также учитывать, что жвачные травоядные животные, обитающие на территории радиоактивного загрязнения, наряду с травой могут потреблять большое количество дернины и земли и соответственно содержащихся в них радионуклидов [2].

На начальном этапе пищеварения под действием пищеварительных соков с различным уровнем pH и активного перемешивания химуса наблюдается переход в жидкую фазу химуса радионуклидов из корма. Главным местом всасывания радионуклидов является кишечник [7]. Поэтому уровень содержания ^{137}Cs в рубце или желудке животных можно рассматривать как отображение радиоактивного загрязнения рациона. На рисунке представлено соотношение содержания ^{137}Cs в мышечной ткани и рубце лося, добытого на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения.



Рис. Содержание ^{137}Cs в мышечной ткани и рубце лося, обитающего на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения

Наибольшее содержание исследуемого радионуклида наблюдается в содержимом рубца и, соответственно, в мышечной ткани животных, обитающих на территории зоны отчуждения. Среднее значение содержания ^{137}Cs в мышечной ткани составило $10,66-1,55$ кБк/кг, а в содержимом рубца – $8,11-1,53$ кБк/кг. Животные, добытые на территории с более низким уровнем радиоактивного загрязнения, имели и меньшее содержание ^{137}Cs в рационе и мышечной ткани. Удельная активность данного радионуклида в мышечной ткани лосей, отстрелянных на территории зоны отселения и контрольного района, составляла $2,44-0,58$ и $0,13-0,01$ кБк/кг соответственно, в то время как в

рубце содержание ^{137}Cs находилось в пределах от 1,32–0,38 кБк/кг у животных, обитающих в зоне отселения, до 0,08–0,03 кБк/кг у лосей, добытых в контрольном районе.

Коэффициенты корреляции между содержанием ^{137}Cs в мышечной ткани и содержанием рубца лося находились в пределах от 0,839 у животных, обитающих на территории контрольного района, до 0,955 у лося, добытого в зоне отселения. Для животных, отстрелянных в зоне отчуждения, данный показатель составлял 0,468.

Нами также определено содержание ^{90}Sr в костной ткани и органах и тканях животного. Средний уровень накопления ^{90}Sr в костной ткани лося, добытого в зоне отчуждения, составил 33,61 кБк/кг, а в зоне отселения – 10,07 кБк/кг, то есть в три раза меньше. Кроме костной ткани ^{90}Sr в большей степени накапливается в половых органах и шкуре животных. Мышечная ткань и органы животного содержали ^{90}Sr в пределах 30–110 Бк/кг в зоне отчуждения и 11–30 Бк/кг в зоне отселения. Наши данные подтверждаются исследованиями других ученых [3], которые также отмечают более высокие коэффициенты накопления радиостронция в костной ткани животных, по сравнению с другими органами.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее загрязнен организм лося, обитающего на территории зоны отчуждения после аварии на Чернобыльской АЭС. Среднее содержание данного радионуклида в мышечной ткани лося, добытого на территории зоны отчуждения за период наблюдения, составило 7,18–0,91 кБк/кг. Среднее содержание данного радионуклида в мышечной ткани лося, добытого на территории зоны отселения, за весь период наблюдения составило 3,26–0,66 кБк/кг, что в 2,0 раза меньше ($p < 0,05$), чем у животных, добытых в зоне отчуждения. Наименьшее содержание ^{137}Cs отмечено в мышечной ткани лосей, обитающих на территории контрольного района.

Средний уровень накопления ^{90}Sr в костной ткани лося, добытого в зоне отчуждения, составил 33,61 кБк/кг, а в зоне отселения – 10,07 кБк/кг, то есть в три раза меньше. Мышечная ткань и органы животного содержали ^{90}Sr в пределах 30–110 Бк/кг в зоне отчуждения и 11–30 Бк/кг – в зоне отселения. Следует отметить, что даже в «чистой зоне» добывались животные с превышением нормативных значений содержания ^{137}Cs в мышечной ткани. Поэтому требуется радиологический контроль всей охотничье-промысловой продукции, добытой на территории республики.

Библиографические ссылки

1. Адаптация агроэкоосферы к условиям техногенеза / Под ред. Р. Г. Ильязова. – Казань : ФЭн, 2006. – 664 с.
2. Анненков Б. Н. Закономерности метаболизма радионуклидов в организме сельскохозяйственных животных // Радиационные аварии и ликвидация их последствий в агроосфере. – Казань : ФЭн, 2004. – С. 90–133.
3. Богатов Л. В. Биологические и радиэкологические эффекты накопления Sr-90 у сельскохозяйственных и диких животных / Л. В. Богатов, Н. И. Буров, А. И. Ильенко // Проблемы и задачи радиэкологии животных. – М. : Наука, 1980. – С. 172–181.
4. Гайченко В. А. Радиобіологічні наслідки аварії на ЧАЕС в популяціях диких тварин зони відчуження: Автореф. дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.08. / Інститут експер. патології, онкології та радіобіології ім. Р. Е. Кавецького. – К., 1996. – 48 с.
5. Гулаков А. В. Радиэкология диких промысловых животных и пресноводных рыб после аварии на Чернобыльской АЭС / А. В. Гулаков, К. Ф. Саевич. – Минск : Веды, 2006. – 168 с.
6. Животный мир в зоне аварии Чернобыльской АЭС / Под ред. Л. М. Сушняка, М. М. Пикулик, А. Е. Пленин. – Минск : Навука і тэхніка, 1995. – 263 с.

7. **Журавлев В. Ф.** Токсикология радиоактивных веществ. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 336 с.
8. **Ильенко А. И.** Экология животных в радиационном биогеоценозе / А. И. Ильенко, Т. П. Крапивко. – М. : Наука, 1989. – 224 с.
9. **Корнеев Н. А.** Основы радиоэкологии сельскохозяйственных животных / Н. А. Корнеев, А. Н. Сироткин. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 208 с.
10. **Сборник** нормативных, методических, организационно-распорядительных документов Республики Беларусь в области радиационного контроля и безопасности / Под ред. В. Е. Шевчука. – Минск, 1998. – 230 с.
11. **Соколов В. Е.** Дикие животные в глобальном радиоэкологическом мониторинге / В. Е. Соколов, Д. А. Криволуцкий, В. Л. Усачев. – М. : Наука, 1989. – 150 с.
12. **СТБ 1059-98.** Радиационный контроль. Подготовка проб для определения стронция-90 радиохимическими методами. – Введ. 01.07.1998 г. – Минск : Госстандарт, 1998. – 22 с.
13. **Shearman S.** Radiation continuing to affect Chernobyl wildlife // Geographical (Circle Publishing). – 2009. – Vol. 81, Is. 6. – P. 9.
14. **Strebel F.** Time trends (1986–2003) of radiocesium transfer to roe deer and wild boar in two Austrian forest regions / F. Strebl, F. Tataruch // Journal of Environmental. – 2007. – Vol. 98, Is. 1/2. – P. 137–152.
15. **Time-dependence** of the radiocaesium contamination of roe deer: Measurement and modeling / G. Zibold et al. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2001. – Vol. 55, Is. 1. – P. 5–27.

Надійшла до редколегії 14.07.2011