

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ^{90}Sr И ^{137}Cs ПО ОРГАНАМ И ТКАНЯМ РЫЖЕЙ ПОЛЕВКИ (*CLETHRIONOMYS GLAREOLUS*) В УСЛОВИЯХ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ

Ю. А. Маклюк, С. П. Гащак, А. И. Липская, А. М. Максименко

Международная радиэкологическая лаборатория Чернобыльского центра по проблемам ядерной безопасности, радиоактивных отходов и радиэкологии, Славутич

У рыжей полевки, обычного представителя дикой фауны Чернобыльской зоны, используемого в радиобиологических и генетических исследованиях, впервые и детально изучено распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в организме, возникшее в результате естественного хронического поступления радионуклидов. Несмотря на очевидную гетерогенность условий обитания природной популяции и разнообразие уровней индивидуального загрязнения организма, относительное распределение радионуклидов по органам и тканям подчиняется определенным закономерностям и отличается от характера распределения, ранее установленного у других видов лабораторных и диких грызунов. Выявленные закономерности позволяют более осмысленно и целенаправленно подходить к оценке последствий комплексного радиационного воздействия на организм мышевидных грызунов, обитающих в Чернобыльской зоне.

Техногенное радиоактивное загрязнение окружающей среды, как известно, приводит к комплексному внешнему и внутреннему облучению животных. При этом характер проявления радиационно-детерминированных эффектов в значительной степени зависит от изотопного состава выпадений, поскольку из-за своих химических свойств радиоактивные изотопы по-разному усваиваются и распределяются в организме и, как следствие, приводят к неравномерному формированию дозовых нагрузок в органах и тканях [1 - 3]. Таким образом, знания о характере распределения радионуклидов по органам и тканям являются важным этапом для адекватной оценки последствий, которые могут возникнуть в популяциях животных, обитающих на загрязненных территориях. В частности, большой интерес представляют подобные знания в отношении диких мелких млекопитающих Чернобыльской зоны, длительное время используемых для оценки последствий Чернобыльской аварии. К сожалению, литературные данные преимущественно касаются распределения радионуклидов в организме лабораторных, сельскохозяйственных или крупных диких млекопитающих [3 - 12], в то время как в отношении диких мелких млекопитающих такие данные немногочисленны [2, 13 - 19]. К тому же следует заметить, что результаты лабораторных экспериментов не всегда совпадают с результатами исследований, проведенных в естественных условиях. Установлено, что биологическая доступность радионуклидов, включенных в структурные элементы корма и почвенных частиц, существенно ниже, чем из искусственно приготовленных растворов [3]. На примере сельскохозяйственных животных показано, что в условиях их естественного содержания параметры накопления и особенности распределения

радионуклидов в организме заметно отличаются от тех, которые возникают при затравке животных растворами радионуклидов [11, 12]. Кроме того, условия вынужденной гиподинамии и искусственный рацион самым непосредственным образом сказываются на метаболизме животных и интенсивности выведения радионуклидов [20 - 22], что подразумевает и отличия в их распределении.

Таким образом, экстраполяция результатов исследований, выполненных в лабораторных искусственных условиях на одних видах животных, на другие виды, живущие в естественных условиях, представляется возможной только после соответствующего сравнительного анализа. А поэтому изучение особенностей распределения радионуклидов в организме тех диких животных, которые регулярно используются в радиобиологических исследованиях природных популяций, является довольно актуальным.

Рыжая полевка – наиболее распространенный вид мелких млекопитающих Чернобыльской зоны, который с первых лет после аварии регулярно используется в исследованиях биологических последствий радиационного загрязнения природной среды [23 - 27]. Целью данной работы являлось детальное изучение особенностей распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs в ее организме как наиболее важных на современном этапе дозообразующих радионуклидов в составе чернобыльских выпадений и сравнение полученных результатов с доступными литературными данными по этой теме.

Материалы и методы

Исследования проведены в 2003 - 2005 гг. Рыжих полевок (13 самок и 15 самцов) отловили

на двух площадках Чернобыльской зоны: “Рыжий лес” (^{90}Sr - 56258 кБк/м², ^{137}Cs - 83821 кБк/м²) и “Лесничество” (^{90}Sr - 3160 кБк/м², ^{137}Cs - 7407 кБк/м²). Удельная активность всего тела животных варьировала по ^{137}Cs от 187,5 до 5977,0 Бк/г, а по ^{90}Sr от 32,1 до 329,8 Бк/г.

Всех животных взвешивали, а затем, используя метод гамма- и бета-спектрометрии [28], производили измерения активности радионуклидов во всем теле. Затем их препарировали с отбором 14 типов органов и тканей: головной мозг, глаза, сердце, легкие, селезенка, печень, почки, желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) с содержимым, жировая ткань, шкура, скелет, мышцы, семенники с придатками (у самцов) и матка с эмбрионами (у самок). Каждую ткань взвешивали с точностью до 0,001 г.

ЖКТ анализировали вместе с содержимым, поскольку технически их сложно разделить без потерь материала и активности, учитывая мелкие размеры животного; и согласно двум подходам-допущениям: 1) у мелких животных гамма- и бета-излучение, выходящее за пределы химуса, проходит сквозь тонкие ткани ЖКТ почти без поглощения; 2) в норме у диких грызунов удельная и абсолютная активность химуса намного выше, чем удельная и абсолютная активность тканей ЖКТ [13].

Генеративный орган самок – матку – рассматривали вместе с эмбрионами по нескольким причинам: 1) в задачи исследования не входило изучение особенностей распределения радионуклидов на разных стадиях эмбриогенеза и в различных тканях генеративных органов; 2) техническая сложность разделения тканей матки от эмбрионов без потерь околоплодной жидкости; 3) допущение, что данные, полученные на гетерогенной выборке самок, будут отражать усредненные закономерности, существующие в дикой популяции.

Для отдельного анализа мышечной ткани и скелета костно-мышечный каркас вначале взвешивали, а затем отбирали образец мышечной ткани для спектрометрического и радиохимического анализов, а оставшуюся часть подсушивали и помещали в колонию жуков-кожеедев (род *Dermestes*). Очищенный биологическим способом скелет взвешивали и, поскольку он имел воздушно-сухую массу, рассчитывали его исходную массу с помощью коэффициента усушки ($1,756 \pm 0,022$ – предварительно определенный эмпирическим способом). Общую массу мышц рассчитывали как разницу между массой костно-мышечного каркаса и сырой массой скелета. Для учета возможных потерь актив-

ности препарирование животных выполняли на бумаге, которая впитывала в себя жидкие компоненты (кровь, мочу, лимфу) и остатки тканей. Затем в бумаге, так же как и в тканях, определяли содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs . По расчетам, во время препарирования терялось от 0,72 до 13,67 % (в среднем $2,63 \pm 0,59$ %) от исходной массы животного. Затем все образцы отправляли на мокрое (кислотное) озоление (концентрированная HNO_3 и H_2O_2 с добавлением носителя $\text{Y}(\text{NO}_3)_6\text{H}_2\text{O}$). После озоления пробы приводили к стандартному объему и измеряли активность ^{137}Cs на гамма-спектрометре с HP-Ge детектором.

Радиохимическое определение ^{90}Sr производили оксалатным методом по дочернему ^{90}Y . Химический выход для ^{90}Y не менее 65 % [29]. Счетный образец в зависимости от уровня активности измеряли либо на низкофононовом газопоточном счетчике FTH770T6 “EBERLINE”, либо на радиометре КРК-01. Все методики измерений аккредитованы ГП “Белая Церковь стандартметрология”. Статистическую обработку проводили стандартными методами. В общей сложности в ходе исследований было подготовлено и проанализировано 392 пробы.

Результаты и выводы

В табл. 1 приведены значения индекса массы органов и тканей животного (масса ткани в % от общей массы тела). Согласно этим данным, наибольшую долю в общей массе тела полевки составляет мышечная ткань и ЖКТ. Несколько меньшую долю – шкура, печень, репродуктивные органы и скелет. Наиболее изменчивой массой отличаются репродуктивные органы, жировая ткань и селезенка. Достоверные половые отличия по показателю индекса массы установлены только для жировой ткани (критерий Стьюдента, при $p < 0,05$).

Как известно, ^{90}Sr относится к группе остеотропных радионуклидов [30], поскольку в основном накапливается в костной ткани.

В целях сравнительного анализа были рассчитаны относительные средние значения удельной активности (K_{Sr}) радионуклида в каждой ткани. Для этого у каждого животного искомое значение K_{Sr} в ткани пронормировали (разделили) по K_{Sr} всего тела, после чего данные по всем животным объединили и рассчитали средние значения для каждой ткани.

Как и ожидалось, наибольшие относительные значения K_{Sr} выявлены в скелете, составив 15,98 от средней K_{Sr} в теле (рис. 1, табл. 2). Другие ткани уступают костям почти на два порядка величины. Из них наибольшие K_{Sr} – в шкуре,

Таблица 1. Индекс массы органов и тканей у рыжей полевки (%), среднее \pm стандартное отклонение

Органы и ткани	Все особи (n = 28)	CV	Самки (n = 13)	CV	Самцы (n = 15)	CV
Глаза	0,16 \pm 0,01	31,9	0,15 \pm 0,02	39,1	0,17 \pm 0,01	25,6
Селезенка	0,28 \pm 0,02	38,3	0,28 \pm 0,03	38,7	0,28 \pm 0,03	39,3
Сердце	0,78 \pm 0,03	20,6	0,73 \pm 0,04	21,1	0,81 \pm 0,04	19,7
Жировая ткань	1,47 \pm 0,29	102,8	2,38 \pm 0,50	75,4	0,68 \pm 0,11	63,3
Легкие	1,17 \pm 0,04	19,9	1,22 \pm 0,07	19,6	1,13 \pm 0,06	20,1
Почки	1,51 \pm 0,03	10,6	1,45 \pm 0,05	13,3	1,56 \pm 0,03	
Мозг	2,17 \pm 0,08	20,2	2,02 \pm 0,13	23,8	2,31 \pm 0,09	15,8
Скелет	5,93 \pm 0,36	32,0	5,82 \pm 0,44	27,1	6,03 \pm 0,57	36,3
Семенники	–		–		5,58 \pm 0,36	25,1
Печень	6,04 \pm 0,18	15,4	6,31 \pm 0,30	16,9	5,79 \pm 0,19	12,8
Шкура	10,15 \pm 0,32	16,6	9,76 \pm 0,48	17,9	10,49 \pm 0,42	15,4
Матка	–		11,42 \pm 2,22	70,2	–	
ЖКТ	21,07 \pm 0,79	19,8	21,08 \pm 1,36	23,3	21,06 \pm 0,94	17,3
Мышцы	34,04 \pm 1,05	16,3	30,35 \pm 1,32	15,7	37,24 \pm 1,04	10,7

CV – коэффициент вариации.

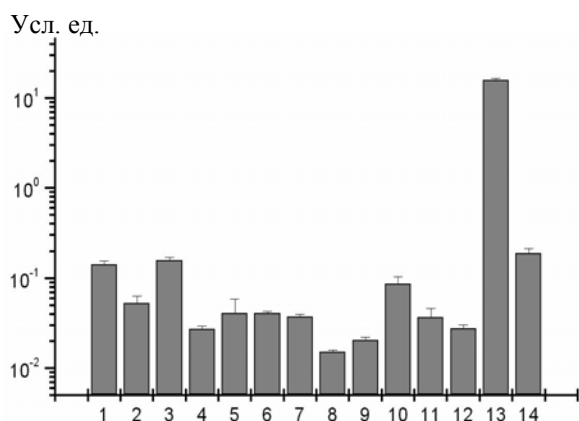


Рис. 1. Отношение K_{Sr} в органах и тканях к средней K_{Sr} в теле рыжей полевки, среднее \pm стандартная ошибка. 1 - глаза, 2 - жировая ткань, 3 - ЖКТ, 4 - легкие, 5 - матка, 6 - мозг, 7 - мышцы, 8 - печень, 9 - почки, 10 - селезенка, 11 - семенники, 12 - сердце, 13 - скелет, 14 - шкура.

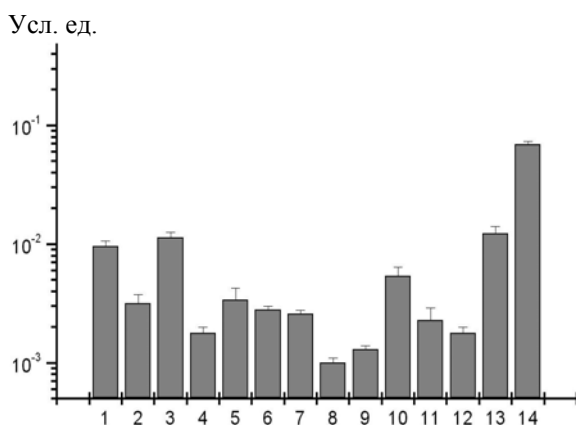


Рис. 2. Отношение K_{Sr} в органах и тканях к K_{Sr} в скелете рыжей полевки, среднее \pm стандартная ошибка. 1 - глаза, 2 - жировая ткань, 3 - ЖКТ, 4 - легкие, 5 - матка, 6 - мозг, 7 - мышцы, 8 - печень, 9 - почки, 10 - селезенка, 11 - семенники, 12 - сердце, 13 - шкура, 14 - все тело.

ЖКТ, глазах и селезенке. Наименьшие значения установлены в печени. В соответствии с CV значения K_{Sr} наиболее стабильны в мозге, печени и скелете, а наименее – в репродуктивных органах самок, селезенке, жировой ткани и шкуре. В соответствии с литературными данными, у инбредных мышей CV K_{Sr} в скелете составляет 8 - 11 % (для разных линий) [32] и 44 и 31 % в скелете диких обыкновенных и узкочерепных полевков соответственно [16]. О 3 - 6-кратных отличиях CV K_{Sr} в скелете лабораторных и диких животных указывают и другие авторы [15]. Это лишний раз подтверждает важность учета индивидуального разнообразия в депонировании радионуклидов при оценке разнообразия биологических эффектов в дикой популяции.

Поскольку K_{Sr} во всем теле является производной величиной от величины общего содержания ^{90}Sr в организме, а это, в свою очередь, зависит от ситуативного загрязнения содержимого ЖКТ и внешних покровов животного, то для дополнительного анализа радиоактивное «загрязнение» отдельных тканей сравнили с «загрязнением» той ткани, в которой содержание радионуклида наименее подвержено быстрым изменениям. В случае со ^{90}Sr такой тканью является костная ткань.

Результаты выполненных расчетов не изменили общий порядок расположения тканей по величине накопления ^{90}Sr (рис. 2) и лишь немногим уменьшили коэффициент вариации величины. Таким образом, можно считать, что в отношении диких мышевидных грызунов проведение расчетов относительно общего содержания радионуклида в теле равнозначно с расчетами относительно наиболее стабильной по накоплению ^{90}Sr костной тканью.

Таблица 2. Отношение K_{Sr} в органах и тканях к среднему значению в теле рыжей полевки, усл. ед.

Органы и ткани	Все особи (n = 28)			Самки (n = 13)			Самцы (n = 15)		
	Среднее	Стандартная ошибка	CV	Среднее	Стандартная ошибка	CV	Среднее	Стандартная ошибка	CV
Глаза	0,142	0,014	53,7	0,174	0,024	50,5	0,117	0,015	50,6
Жировая ткань	0,053	0,010	99,9	0,045	0,018	143,7	0,053	0,011	77,0
ЖКТ	0,160	0,013	43,9	0,150	0,014	33,6	0,170	0,021	48,6
Легкие	0,027	0,002	44,2	0,023	0,002	31,2	0,031	0,005	64,2
Матка				0,041	0,019	164,0	–	–	–
Мозг	0,041	0,002	25,7	0,045	0,003	26,3	0,038	0,002	22,0
Мышцы	0,037	0,003	36,5	0,040	0,004	33,4	0,034	0,003	38,9
Печень	0,015	0,001	27,0	0,014	0,001	24,4	0,016	0,001	26,5
Почки	0,021	0,002	40,1	0,021	0,002	30,0	0,021	0,003	47,2
Селезенка	0,087	0,017	105,6	0,104	0,033	113,3	0,080	0,015	70,9
Семенники				–	–	–	0,037	0,009	99,2
Сердце	0,028	0,003	55,0	0,027	0,004	59,7	0,029	0,004	52,6
Скелет	15,982	0,897	29,7	15,612	1,321	30,5	16,034	1,428	34,5
Шкура	0,192	0,025	70,0	0,219	0,038	62,0	0,180	0,035	75,7

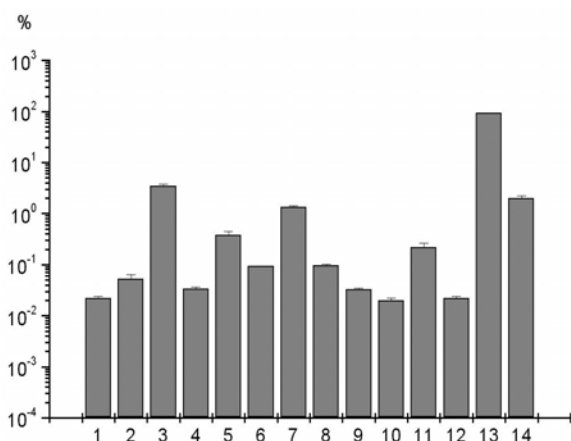


Рис. 3. C_{Sr} в органах и тканях относительно общего C_{Sr} в теле рыжей полевки, среднее \pm стандартная ошибка. 1 - глаза, 2 - жировая ткань, 3 - ЖКТ, 4 - легкие, 5 - матка, 6 - мозг, 7 - мышцы, 8 - печень, 9 - почки, 10 - селезенка, 11 - семенники, 12 - сердце, 13 - скелет, 14 - шкура.

Несмотря на относительно небольшую биомассу скелет рыжей полевки содержит наибольшую долю общего содержания (C_{Sr}) в теле (рис. 3, табл. 3). Среди мягких тканей наибольшим аккумулятором радионуклида является ЖКТ, шкура и мышцы, что связано с их относительно большой массой. C_{Sr} наиболее варьирует в жировой ткани и менее всего – в скелете и мозге.

Установленные в данной работе закономерности близки (хотя и не в полной мере) к ранее описанным у других видов грызунов. Так, C_{Sr} в скелете обыкновенной и узкочерепной полевки составляет 87 и 84,6 % соответственно, в ЖКТ – 5,5 и 5,3 %, на мягкие ткани приходится – 8,1 и 10,1 % [16]. У мышей линии СВА на долю скелета приходится 98,9 % ^{90}Sr , а на мягкие

Усл. ед.

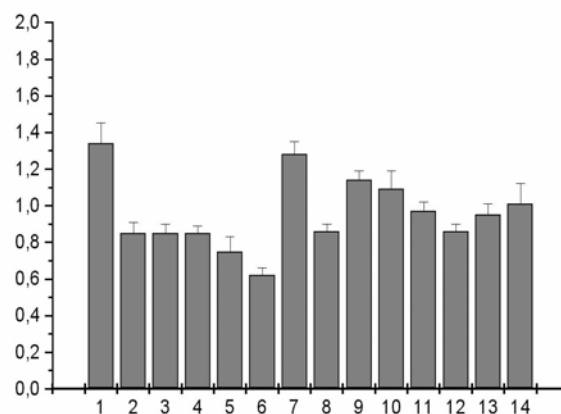


Рис. 4. Отношение K_{Cs} в органах и тканях к средней K_{Cs} в теле рыжей полевки, среднее \pm стандартная ошибка. 1 - глаза, 2 - жировая ткань, 3 - ЖКТ, 4 - легкие, 5 - матка, 6 - мозг, 7 - мышцы, 8 - печень, 9 - почки, 10 - селезенка, 11 – семенники, 12 - сердце, 13 - скелет, 14 - шкура.

ткани (без ЖКТ) – 1,1 % [32]. У белых лабораторных крыс C_{Sr} [6] в скелете при наступлении равновесия составляет 32 - 36,5 %, в печени – 1,2 - 1,5 %, в мышцах – 0,05 - 0,11 % и в почках – 0,01 - 0,07 %, что принципиально отличается от закономерностей, установленных у мелких мышевидных грызунов. К сожалению, разнокачественность и недостаток литературной информации по распределению ^{90}Sr у мелких грызунов не позволяют провести полный сравнительный анализ по всем органам и тканям животных.

Как известно, распределение цезия по органам и тканям животных носит относительно равномерный характер в силу того, что в химическом отношении он ведет себя подобно макроэлементу – калию [33]. В известной сте-

Таблица 3. C_{Sr} в органах и тканях рыжей полевки относительно общего C_{Sr} в теле, %

Органы и ткани	Все особи (n = 28)			Самки (n = 13)			Самцы (n = 15)		
	Среднее	Стандартная ошибка	CV	Среднее	Стандартная ошибка	CV	Среднее	Стандартная ошибка	CV
Глаза	0,022	0,002	36,4	0,024	0,002	27,1	0,020	0,002	44,0
Жировая ткань	0,053	0,010	96,8	0,075	0,017	83,5	0,034	0,007	86,3
ЖКТ	3,496	0,262	39,7	3,227	0,269	30,1	3,729	0,430	44,7
Легкие	0,034	0,003	54,3	0,030	0,002	29,0	0,037	0,006	64,2
Матка				0,380	0,072	68,0	–	–	–
Мозг	0,093	0,002	14,0	0,094	0,004	15,1	0,091	0,003	13,2
Мышцы	1,334	0,086	34,0	1,330	0,103	28,0	1,337	0,136	39,4
Печень	0,097	0,005	24,6	0,095	0,006	23,5	0,099	0,007	26,0
Почки	0,033	0,002	38,5	0,032	0,002	28,0	0,034	0,004	45,7
Селезенка	0,020	0,002	52,2	0,020	0,003	48,7	0,021	0,003	56,5
Семенники				–	–	–	0,216	0,047	83,8
Сердце	0,022	0,002	50,4	0,020	0,003	48,1	0,024	0,003	51,2
Скелет	92,302	0,443	2,5	92,431	0,538	2,1	92,190	0,699	2,9
Шкура	2,006	0,245	64,7	2,091	0,351	60,5	1,933	0,352	70,6

Таблица 4. Отношение K_{Cs} в органах и тканях к средней K_{Cs} в теле рыжей полевки, усл. ед.

Органы и ткани	Все особи (n = 28)			Самки (n = 13)			Самцы (n = 15)		
	Среднее	Стандартная ошибка	CV	Среднее	Стандартная ошибка	CV	Среднее	Стандартная ошибка	CV
Глаза	1,34	0,11	45,2	1,47	0,17	42,4	1,23	0,15	47,9
Жировая ткань	0,85	0,06	35,7	0,96	0,06	23,2	0,76	0,09	45,1
ЖКТ	0,85	0,05	33,7	0,91	0,09	36,2	0,79	0,06	30,5
Легкие	0,85	0,04	26,6	0,91	0,07	26,8	0,80	0,05	25,7
Матка				0,75	0,08	39,3	–	–	–
Мозг	0,62	0,04	30,3	0,71	0,05	23,5	0,54	0,04	31,8
Мышцы	1,28	0,07	27,8	1,35	0,11	29,4	1,22	0,08	26,1
Печень	0,86	0,04	23,4	0,93	0,06	23,1	0,80	0,04	21,4
Почки	1,14	0,05	24,7	1,19	0,09	26,7	1,10	0,06	22,7
Селезенка	1,09	0,10	48,5	1,12	0,13	42,3	1,06	0,15	55,2
Семенники				–	–	–	0,97	0,05	18,8
Сердце	0,86	0,04	23,6	0,94	0,05	18,5	0,79	0,05	26,1
Скелет	0,95	0,06	32,4	0,93	0,08	29,5	0,97	0,09	35,4
Шкура	1,01	0,11	56,6	1,07	0,15	49,3	0,96	0,16	64,8

пени это установлено и у рыжей полевки: крайние значения K_{Cs} у одной особи отличаются не более чем в два-три раза. Относительно средней K_{Cs} в теле наибольшие значения этой величины установлены в глазах, мышцах, почках и селезенке (рис. 4, табл. 4), а наименьшие – в мозге, легких, ЖКТ, жировой ткани, сердце и печени. CV этих показателей ниже, чем это было показано для ^{90}Sr .

Рассмотрение K_{Cs} органов и тканей относительно K_{Cs} в мышцах не изменяет порядок их расположения по величине (рис. 5), хотя CV этих величин несколько увеличивается. Таким образом, можно считать, что в современных условиях случайные факторы влияют на текущее загрязнение животных несущественно, и расчеты, производимые относительно общего загрязнения организма, равнозначны расчетам,

производимым относительно тканей, наиболее стабильных по накоплению радионуклида.

Сравнение результатов настоящего исследования с доступными литературными данными демонстрирует их общность только в отношении тезиса об относительной равномерности распределения ^{137}Cs в организме, тогда как числовые значения довольно существенно различаются (табл. 5). Так, у крыс при хроническом поступлении радионуклида K_{Cs} убывает в ряду: мышцы > почки > печень [1]. Похожие результаты были получены и для ондатры (*Ondatra zibethica*) [13]: мышцы > > почки > селезенка > легкие > глаза > печень. Таким образом, мышцы и почки являются наибольшими аккумуляторами ^{137}Cs , тогда как способность других тканей к накоплению радионуклида сильно варьирует.

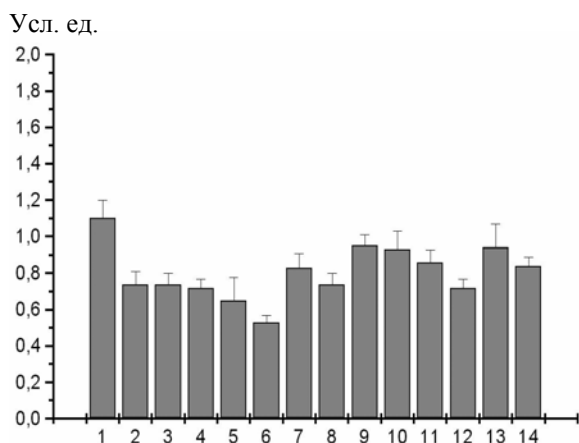


Рис. 5. Отношение K_{Cs} в органах и тканях к K_{Cs} в мышцах рыжей полевки, среднее \pm стандартная ошибка. 1 - глаза, 2 - жировая ткань, 3 - ЖКТ, 4 - легкие, 5 - матка, 6 - мозг, 7 - скелет, 8 - печень, 9 - почки, 10 - селезенка, 11 - семенники, 12 - сердце, 13 - шкура, 14 - все тело.

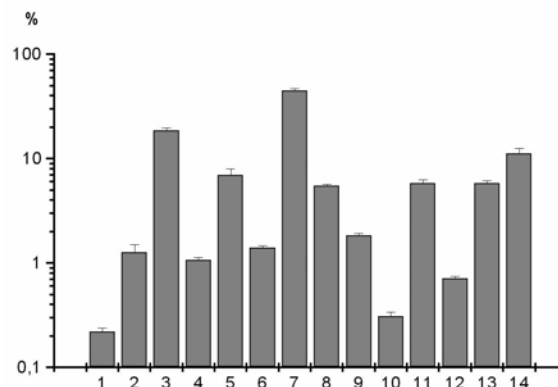


Рис. 6. C_{Cs} в органах и тканях относительно общего C_{Cs} в теле рыжей полевки, среднее \pm стандартная ошибка. 1 - глаза, 2 - жировая ткань, 3 - ЖКТ, 4 - легкие, 5 - матка, 6 - мозг, 7 - мышцы, 8 - печень, 9 - почки, 10 - селезенка, 11 - семенники, 12 - сердце, 13 - скелет, 14 - шкура.

Таблица 5. C_{Cs} и K_{Cs} в органах и тканях грызунов, при хроническом поступлении радионуклида

Органы и ткани	Отношение K_{Cs} в органах и тканях к K_{Cs} в мышцах, усл. ед.			C_{Cs} органах и тканях относительно C_{Cs} в теле, %	
	Рыжая полевка	Крыса [6]	Ондатра [13]	Рыжая полевка	Крыса [18]
Мышцы	1	1	1	45,01	80,39
Глаза	1,09	-	0,5	0,22	-
Жировая ткань	0,74	-	-	1,27	-
ЖКТ	0,74	-	2,82	18,62	2,71
Легкие	0,72	0,25	0,61	1,07	0,18
Матка	0,65	-	-	-	-
Мозг	0,53	-	0,31	1,40	0,18
Печень	0,74	0,25	0,5	5,50	2,08
Почки	0,95	0,4-0,7	0,75	1,84	0,49
Селезенка	0,93	0,3	0,62	0,31	0,09
Семенники	0,86	-	-	-	-
Сердце	0,72	-	-	0,71	-
Скелет	0,83	0,3	-	5,79	0,22
Шкура	0,94	-	0,17	11,21	5,02
Все тело	0,84	0,6	-	-	-

В связи с тем, что по K_{Cs} ткани почти не отличаются, на общее содержание в них радионуклида (C_{Cs}) влияет их масса. Наибольшая доля общего C_{Cs} в теле приходится на мышцы, ЖКТ, шкуру, скелет и печень (рис. 6, табл. 6). У животных других размерных и экологических групп возможно иное распределение C_{Cs} . Так, у крыс на долю мышц приходится почти вдвое большее C_{Cs} , чем у рыжей полевки, и, соответственно, заметно меньшее содержание в остальных органах и тканях (см. табл. 5).

Результаты, полученные в нашем исследовании, свидетельствуют об отсутствии или незначительности половых отличий по накоплению ^{90}Sr и ^{137}Cs . На отсутствие половых

отличий указывают и другие авторы [15, 34, 35]. Однако в литературе можно встретить и иные результаты. В обзоре Баженова с соавторами [8] указано, что K_{Sr} в скелете самцов (собаки, крысы, морские свинки) было выше, чем в скелете самок. При этом у старых животных эти различия исчезали. К такому же результату приводила кастрация самок. В других исследованиях (на примере полевок и бурозубок), наоборот, K_{Sr} в скелете самок на 10 - 25 % превышала таковую в скелете самцов [36]. В ряде работ установлено, что половые отличия в накоплении радионуклидов существуют только в период размножения, в связи с изменениями в минеральном обмене. Так, на примере темных и красных поле-

Таблица 6. C_{Cs} в органах и тканях относительно общего C_{Cs} в теле рыжей полевки, %

Органы и ткани	Все особи (n = 28)			Самки (n = 13)			Самцы (n = 15)		
	Среднее	Стандартная ошибка	CV	Среднее	Стандартная ошибка	CV	Среднее	Стандартная ошибка	CV
Глаза	0,22	0,02	38,5	0,22	0,02	30,8	0,22	0,02	44,0
Жировая ткань	1,27	0,23	95,5	2,09	0,36	62,7	0,55	0,12	86,7
ЖКТ	18,62	1,01	28,6	19,82	1,65	30,0	17,57	1,33	29,2
Легкие	1,07	0,07	33,1	1,18	0,10	29,3	0,98	0,09	35,9
Матка				7,00	1,01	52,1	–	–	–
Мозг	1,40	0,07	28,1	1,52	0,09	21,9	1,30	0,10	30,2
Мышцы	45,01	2,07	24,3	41,67	2,93	25,4	47,91	2,92	23,6
Печень	5,50	0,23	22,4	6,20	0,33	19,5	4,89	0,26	20,6
Почки	1,84	0,08	21,7	1,83	0,11	22,1	1,84	0,11	22,7
Селезенка	0,31	0,03	50,8	0,31	0,04	42,4	0,30	0,04	57,2
Семенники				–	–	–	5,83	0,50	33,2
Сердце	0,71	0,04	26,1	0,73	0,04	21	0,69	0,06	31,0
Скелет	5,79	0,38	34,7	5,49	0,34	23	6,05	0,65	41,8
Шкура	11,21	1,33	62,9	11,47	1,79	56	10,99	1,96	69,2

вок было показано, что в период размножения накопление ^{90}Sr в скелете самок превышает таковое у самцов, тогда как в другие сезоны отличия отсутствовали [2, 19].

Наибольшие CV значений C_{Cs} , Sr приходятся на органы и ткани с переменной биомассой (жировая ткань, матка с эмбрионами, семенники, селезенка) (см. табл. 3, 6), а также на шкуру, загрязнение которой может зависеть либо от внешних факторов, либо от стадии линьки.

Несмотря на то, что в большинстве других исследований авторы анализировали ЖКТ животных без содержимого [2 - 4, 14 - 17], в нашей работе было показано, что в выборке животных из природной популяции CV значений индекса массы ЖКТ вместе содержимым, равно как и K_{Cs} , Sr и C_{Cs} , Sr , принципиально не отличается от таковых для большинства других органов и тканей. Это подтверждает правомерность предпринятого подхода.

Распределение радионуклидов в организме животных во многом зависит от их экологических и биологических особенностей, типа питания, физиологического состояния организма (пол, возраст, стадия репродуктивного цикла, интенсивность обмена веществ, морфология и химический состав отдельных органов и тканей)

и условий окружающей среды. Обращает на себя внимание исключительно высокий уровень индивидуальной изменчивости и заметные видовые отличия в накоплении радионуклидов. В соответствии с результатами настоящего исследования результаты, полученные на других видах животных и в лабораторных условиях, лишь в самом первом приближении подходят для прогноза особенностей распределения радионуклидов у диких видов и, в частности, у рыжей полевки. В то же время, несмотря на высокую индивидуальную изменчивость абсолютного загрязнения организма, и в гетерогенной выборке из дикой популяции возможно обнаружение существующих закономерностей, свойственных данному виду.

Полученная информация позволяет более взвешенно оценивать те биологические эффекты, которые исследователи обнаруживают в популяции рыжей полевки Чернобыльской зоны, либо более целенаправленно осуществлять поиск новых свидетельств радиационного воздействия. Полученные данные представляют теоретический интерес и для разработки других проблем радиоэкологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балабуха В.С., Разбитная Л.М., Разумовский Н.О., Тихонова Л.И. Проблема выведения из организма долгоживущих радиоактивных изотопов. - М.: Госатомиздат, 1962. - 168 с.
2. Ильенко А.И. Концентрирование животными радиоизотопов и их влияние на популяцию. - М.: Наука, 1974. - 168 с.
3. Корнеев Н.А., Сироткин А.Н. Основы радиоэкологии сельскохозяйственных животных. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - С. 30 - 56.
4. Соколов В.Е., Кривоулицкий Д.К., Усачев В.Л. Дикие животные в глобальном радиоэкологическом мониторинге. - М.: Наука, 1989. - 148 с.
5. Москалев Ю.И. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 264 с.

6. Булдаков Л.А., Москалев Ю.И. Проблема распределения и экспериментальной оценки допустимых уровней ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{106}Ru . - М.: Атомиздат, 1968. - 295 с.
7. Vandecasteele C.M., Van Hees M, Culot J.P., Vankerkom J. Radiocaesium metabolism in pregnant ewes and their progeny // Science of the Total Environment. - 1989. - Vol. 85. - P. 213 - 223.
8. Баженов В.А., Булдаков Л.А., Василенко И.Я. и др. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества. - Л.: Химия, 1990. - 464 с.
9. Козло П.Г., Кучмель С.В., Емельянова, Дерябина Т.Г. Временные изменения содержания радионуклидов в организме кабана (*Sus scrofa*) и лося (*Alces alces*) // 10 лет ПГРЭЗ: Сб. ст. / Сост. Т. М. Одинцова, К. М. Кириенко. - Мн.: Изд. Н.Б. Киреев, 1998. - С. 53 - 59.
10. Буров Н.И., Антакова Н.Н., Панченко И.Я. Радиоэкология позвоночных животных. - М.: Наука, 1978. - С. 80 - 89
11. Кудрявцев В.Н., Васильев А.В., Краснова Е.Г., Фадеев М.Ю. Распределение и накопление ^{137}Cs в органах и тканях овец при хроническом поступлении с кормом в зоне аварии Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2006. - Т. 46, № 1. - С. 45 - 49.
12. Иванов Ю.А., Кашипаров В.А., Лазарев Н.М. и др. Физико-химические формы выброса ЧАЭС и долговременная динамика поведения радионуклидов выброса в компонентах агроэкосистем // Сб. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. «Чернобыль-94» / Под ред. Н. П. Архипова - Чернобыль, 1996. - Т. 1. - С. 256 - 269.
13. Kaye S.V., Dunaway P.B. Bioaccumulation of radioactive isotopes by herbivorous small mammals // Health Physics. - 1962. - Vol. 7. - P.205 - 217.
14. Мойсеенко М.І., Серкіз Я.І., Дрозд І.П. та ін. Динаміка дозових навантажень на органи і тканини тварин при тривалому надходженні до організму радіонуклідів ^{137}Cs та $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ // Проблеми Чорнобильської зони відчуження. - К.: Наук. думка, 1998. - Вип. 5. - С. 167 - 173.
15. Стариченко В.И. Накопление ^{90}Sr в костной ткани обыкновенной слепушонки, обитающей в головной части Восточно-Уральского радиоактивного следа // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2004. - Т. 44 (3). - С.346 - 350.
16. Стариченко В.И., Любашевский Н.М. Индивидуальные особенности аккумуляции ^{90}Sr в организме двух видов серых полевок, обитающих на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа // Радиационная биология. Радиоэкология. - 1998. - Т. 38, вып. 3. - С. 375 - 383.
17. Гайченко В.А., Коваль Г.М., Титар В.М. Особливості надходження і біогенного перерозподілу радіонуклідів, їх міграція по трофічних ланцюгах та формування дозових навантажень диких тварин // Зб. наук. праць «Чернобыль. Зона відчуження» / За ред. В. Г. Бар'яхтара. - К.: Наук. думка, 2001. - С. 299 - 316.
18. Richmond C.R. Retention and Excretion of Radionuclides of the Alkali Metals by Five Mammalian Species (USAEC Report LA-2207. Los Alamos Scientific Laboratory. 1958) // Health Physics. - 1980. - Vol. 38. - P. 1111 - 1153.
19. Ильенко А.И., Крапивко Т.П. Экология животных в радиационном биогеоценозе. - М.: Наука, 1989. - 224 с.
20. Fendley T.T., Manlove M.N., Brisbin I.L. Accumulation and elimination of radiocesium by naturally contaminated wood ducks // Health Physics. - 1977. - Vol. 32. - P. 415 - 422.
21. Halford D.K., Markham O.D., White G.G. Biological elimination rate of radiosotopes by mallards contaminated at a liquid radioactive waste disposal area // Health Physics. - 1983. - Vol. 45. - P. 745 - 756.
22. Orr H. Excretion of orally administered Zinc-65 by cotton rat in the laboratory and field // Health Physics. - 1967. - Vol. 13. - P. 15.
23. Ильенко А.И., Крапивко Т.П. Результаты радиоэкологического мониторинга популяции рыжей полевки после Чернобыльской аварии // Зоологический журнал. - 1998. - Т. 77, № 1. - С. 108 - 116.
24. Рождественская А.С. Размножение европейской рыжей полевки при загрязнении среды радиоцезием в Белоруссии // Биоиндикация радиоактивных загрязнений. - М.: Наука, 1999. - С. 226 - 231.
25. Таскаев А.И., Тестов Б.В., Померанцева М.Д., Чехович А.И. Формирование доз облучения мышевидных грызунов // Докл. 2-го науч.-техн. совещ. по итогам ЛПА на ЧАЭС "Чернобыль-90". Радиоэкологические аспекты последствий аварии. - Чернобыль, 1990. - Т. 6, ч. 3. - С. 475 - 488.
26. Matson C.W., Rodgers B.E., Chesser R.K., Baker R.J. Genetic diversity of *Clethrionomys glareolus* populations from highly contaminated sites in the Chernobyl region // Environmental Toxicology and Chemistry. - 2000. - Vol. 19. - P. 2130 - 2135.
27. Rodgers B.E., Wickliffe J.K., Phillips C.J. et al. Experimental exposure of naive bank voles, *Clethrionomys glareolus*, to the Chernobyl environment: A test of radioresistance // Environmental Toxicology and Chemistry. - 2001. - Vol. 20, № 9. - P. 1936 - 1941.
28. Bondarkov M.D., Gaschak S.P., Goryanaya Ju.A. et al. Parameters of bank vole decontamination from radiocesium and radiostrontium // Abstracts of "ECORAD 2001", 3 - 7 Sept. 2001. - Aix-en-Provence (France), 2002. - Vol. 37, C1. - P. 385 - 390.
29. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / Под ред. А. Н. Марья, А. С. Зыковой. - М.: Изд-во МЗ СССР, 1980. - 336 с.
30. Любашевский Н.М. Метаболизм радиоизотопов в скелете позвоночных. - М.: Наука, 1980. - 256 с.
31. Стариченко В.И., Григоркина Е.Б. Очерки по экологической диагностике. - Свердловск: УрО АН СССР, 1991. - С. 21 - 30.
32. Стариченко В.И. Индивидуальная изменчивость депонирования ^{90}Sr и ее варибельность в зависимости от генотипической однородности выборки // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2000.

- Т. 40 (4). - С.451 - 455.
33. *Моисеев А.А., Рамзаев П.В.* Цезий-137 в биосфере. - М.: Атомиздат, 1975. - С. 184
34. *Стариченко В.И., Любашевский Н.М., Попов Б.В.* Индивидуальная изменчивость метаболизма остеротропных токсических веществ. - Екатеринбург: УИФ «Наука», 1993. - 168 с.
35. *Журавлев В.Ф.* Токсикология радиоактивных веществ. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 336 с.
36. *Мартышов В.З., Криволицкий Д.А., Смирнов Е.Г., Тарасов О.В.* Экологические последствия длительного радиоактивного загрязнения на Южном Урале // Биоиндикация радиоактивных загрязнений. - М.: Наука, 1999.- С.49 - 72.

**ОЦІНКА РОЗПОДІЛУ ^{90}Sr ТА ^{137}Cs ПО ОРГАНАХ ТА ТКАНИНАХ РУДОЇ НОРИЦІ
(*CLETHRIONOMYS GLAREOLUS*) В УМОВАХ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ**

Ю. О. Маклюк, С. П. Гащак, А. І. Липська, А. М. Максименко

У руді нориці, звичайного представника дикої фауни Чорнобильської зони, який використовується в радіобіологічних та генетичних дослідженнях, уперше й детально вивчено розподіл ^{90}Sr та ^{137}Cs в організмі, що виник у результаті природного хронічного надходження радіонуклідів. Незважаючи на очевидну гетерогенність умов проживання природної популяції та розмаїтість рівнів індивідуального забруднення організму, відносний розподіл радіонуклідів по органах і тканинах підпорядковується певним закономірностям і відрізняється від характеру розподілу, раніше встановленого в інших видах лабораторних і диких гризунів. Виявлені закономірності дають змогу більш осмислено й цілеспрямовано підходити до оцінки наслідків комплексного радіаційного впливу на організм мишоподібних гризунів, які живуть у Чорнобильській зоні.

**ASSESSMENT OF ^{90}Sr AND ^{137}Cs DISTRIBUTION PATTERN IN ORGANS AND TISSUES OF BANK
VOLE (*CLETHRIONOMYS GLAREOLUS*) UNDER CONDITIONS OF CHORNOBYL ZONE**

Yu. A. Maklyuk, S. P. Gaschak, A. I. Lipskaya, A. M. Maksimenko

Distribution pattern of ^{90}Sr and ^{137}Cs has been studied in more detail and for the first time in organism of common representative of Chornobyl wild fauna – bank vole, which are used in radiobiological and genetic research at natural chronic uptake of the radionuclides. In spite of obvious heterogeneity of the natural population conditions and diversity of individual radionuclides body burden, the relative distribution of radionuclides in organs and tissues follow to definite regularities, and is differed from ones, earlier established for other laboratory and wild species of rodents. The revealed regularities allow more sensibly and purposively come to estimate the consequences of complex radiation exposure to rodents inhabited in Chornobyl zone.

Поступила в редакцію 04.09.06,
после доработки – 20.09.06.