

УДК 539.163:599.73:591.436.2:614.876

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПЕЧЕНИ ТРЕХ ВИДОВ ДИКИХ КОПЫТНЫХ В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2022 г. А. Н. Пельгунов^{1,*}, Л. А. Пельгунова¹¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

*E-mail: apelgunov@list.ru

Поступила в редакцию 28.05.2021 г.

После доработки 07.07.2022 г.

Принята к публикации 07.09.2022 г.

Было обследовано 15 кабанов, 15 европейских косуль и три лося (зима 2009–2010 гг). Работа проводилась в Злынковском и Новозыбковском районах Брянской области России. У этих животных в печени были зарегистрированы: ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{154}Eu и ^{137}Cs . ^{154}Eu зарегистрирован только у кабанов от 0.075 до 0.320 Бк/кг с.м. ^{241}Am зарегистрирован у всех трех видов копытных в интервале от 0.011 до 0.611 Бк/кг сырой массы. $^{239+240}\text{Pu}$ зарегистрирован также у всех видов в интервале от 0.008 до 1.15 Бк/кг сырой массы. Наблюдаются значительные видовые различия в накоплении данных радионуклидов дикими копытными. Полученные результаты показывают, что ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ включились в трофические сети, и это один из путей поступления америция и плутония в организм человека, так как на данных территориях открыта охота на копытных.

Ключевые слова: радионуклиды, ^{241}Am , $^{239-240}\text{Pu}$, ^{154}Eu , дикие копытные, печень, Россия, Брянская область

DOI: 10.31857/S0869803122060108

В результате катастрофы на Чернобыльской АЭС в 1986 г. радиоактивному загрязнению подверглись территории 17 областей Российской Федерации. Наиболее загрязненными территориями являются Брянская, Калужская, Тульская и Орловская области. В Брянской области было загрязнено радионуклидами 22 района. Общая площадь загрязнения составила 11 367 км². На этой территории находилось 1335 населенных пунктов и проживало 181 579 человек. В основном загрязнению подверглись пять районов [1]. В Брянской области имеются все четыре зоны радиоактивного загрязнения, установленные законом Российской Федерации “О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС”. Минимальными значениями плотности загрязнения почв ^{137}Cs считаются от 37–185 кБк/м² (1–5 Ки/км²), эти районы имеют статус “проживания с льготным социально-экономическим статусом”. [1]. Работы проводились на территории Злынковского и Новозыбковского районов Брянской области. В этих районах есть территории, отнесенные к “зоне отчуждения” и “зоне отселения” [1].

Дикие копытные были добыты в “зоне отселения” и “зоне отчуждения”. Плотность поверхностного загрязнения почвы в районе работ по ^{137}Cs колебалась от 485 до 1047 кБк/м² (на 1991 г., 1).

^{241}Am и $^{238, 239, 240, 241}\text{Pu}$ нами были обнаружены в поверхностном слое почвы (0–5 см) на опытных участках в этих районах: ^{241}Am – от 0.4 до 6.0 Бк/кг и плутоний – от 0.6 до 1.3 Бк/кг воздушно-сухой смеси [2, 3]. Анализ проб на загрязнение радионуклидами опытных участков проводили специалисты Института физической химии РАН совместно с сотрудниками Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН.

Было показано, что для млекопитающих и человека ^{241}Am и ^{239}Pu являются гепатотрофными радионуклидами. ^{241}Am накапливается в печени человека до 65% от общего количества, период полувыведения (T_{σ}) составляет 13–18 лет. Также у человека 45% плутония из кровеносного русла депонируется в печень и $T_{\sigma} \approx 20$ лет [4].

В работе, посвященной распределению изотопов $^{238, 239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в тканях и органах кабанов (выборка из 10 экземпляров), показано, что печень является наиболее загрязненным органом из проанализированных органов / тканей животных [5]. Именно поэтому мы взяли для определения наличия ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ у диких копытных в Брянской области печень этих животных.

По данным белорусских исследователей [6], для выбросов в результате аварии на ЧАЭС в 1986 г. характерно высокое содержание изотопов

плутония. Большое содержание ^{241}Pu приводит к увеличению количества ^{241}Am за счет радиоактивного распада. Максимальная величина активности ^{241}Am будет в 2059 г. и превысит в 2.5 раза уровень $^{239+240}\text{Pu}$.

Также в этой работе приводятся данные о накоплении ^{241}Am и плутония в растениях и в воде. Указывается на более высокую биологическую подвижность ^{241}Am по сравнению с другими трансураниевыми элементами, что приводит к более высокому содержанию ^{241}Am в растениях и в воде [6]. Таким образом, для данного радионуклида эти пути поступления (с растениями и водой) в организм копытных можно считать вполне реальными.

В настоящее время, спустя 35 лет аварии на Чернобыльской АЭС, за счет процесса ядерно-физического распада, миграции и выноса радионуклидов происходит постепенное улучшение радиоэкологической обстановки на загрязненных территориях Брянской области. Тем не менее в юго-западных районах Брянской области ситуация остается сложной. Выделяются пять районов области с наиболее высоким уровнем загрязнения, в их числе Злынковский и Новозыбковский районы [7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Было обследовано 15 кабанов (*Sus scrofa* L. 1758), 15 европейских косуль (*Capreolus capreolus* L. 1758) и три лося (*Alces alces* L. 1758) в сезон охоты 2009–2010 гг.

Предварительно высушенные и размолотые образцы печени животных анализировали на низкофоновом гамма-спектрометре DSPec-jr-2.0 с детектором из сверхчистого германия (объем 100 см^3) производства фирмы АМТЕК (торговая марка ORTEC, США). Время набора спектра контролировали по специальной программе составляло не менее 18–20 ч. Установка включает в себя полностью цифровой спектрометрический комплекс с поддержкой функции SMART-1, коаксиальный гамма-детектор с относительной эффективностью регистрации фотопика на линии 1.33 МэВ 50% и диапазоном регистрируемых энергий γ -излучений от 40 кэВ до МэВ. Программа обработки сложных гамма-спектров – Gamma Vision A66-B32. Для защиты от внешнего фона установки и препараты помещены внутри толстой комбинированной защиты, состоящей из 10 мм стали, 150 мм свинца, 240 мм полиэтилена с бором (общий вес защиты – 1500 кг).

Для статистической обработки данных, в частности, вычисление средней и стандартной ошибки, а также для вычисления коэффициента корреляции, была использована программа Statistica 06.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У обследованных животных были зарегистрированы ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{154}Eu , ^{137}Cs , данные приведены в табл. 1–3. В таблицах также приведено содержание ^{137}Cs в мышцах бедра обследованных животных.

Необходимо отметить, что изотоп ^{154}Eu зарегистрирован только у кабанов и только у тех животных, у которых накопление ^{241}Am и плутония самое высокое.

В принципе это не удивительно, так как эти радионуклиды выпадали в топливной составляющей (частички топлива) и загрязняли экосистему небольшими локальными пятнами (относительно России), поэтому и поступают в организм диких копытных практически одновременно.

Данные результаты показывают, что ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ включились в трофические сети, и это один из путей поступления америция и плутония в организм человека, так как на данных территориях открыта охота на копытных.

ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдаются значительные видовые различия в накоплении данных радионуклидов дикими копытными.

Для ^{137}Cs характерна прямая зависимость накопления в мышцах и печени – чем больше в мышцах, тем больше в печени, но разница может составлять 30% как в одну, так и в другую сторону. Это, видимо, связано с динамикой поступления и выведения из организма животного ^{137}Cs . Коэффициент корреляции содержания ^{137}Cs в печени и мышцах кабана – 0.99, у косули – 0.76.

Удельная активность ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в организме кабанов на порядок выше, чем у косуль и лосей. Видимо, это связано со спецификой жизнедеятельности этих копытных и, в первую очередь, со спектром питания и роющей деятельностью кабанов. Только у кабанов отмечено наличие ^{154}Eu .

По характеру питания кабан – всеядный. Они поедают корни, клубни, луковицы и подземную часть растений, а также различные ягоды, семена, плоды. Большую роль в питании кабанов играют животные корма: земляные черви, моллюски, личинки и имаго почвенных насекомых, земноводные и мышевидные грызуны [8].

По данным авторов [5], подземные корма используются кабаном в 3.5 раза чаще, чем наземные. Все это приводит к тому, что кабан получает значительное количество загрязненной радионуклидами почвы.

Большое значение имеет поступление трансураниевых элементов (в том числе и ^{241}Am) с ча-

Таблица 1. Удельные активности техногенных радионуклидов (на 2010 г.) в пробах печени кабана, Бк/кг сырой массы
Table 1. Specific activity of technogenic radionuclides (in 2010) in liver samples of wild boar, Bk/kg of raw mass

Проба	Пол	Возраст	¹³⁷ Cs ± 7% мышцы	¹³⁷ Cs ± 7%	¹⁵⁴ Eu ± 20%	²⁴¹ Am ± 25%	^{239,240} Pu ± 25%	⁴⁰ K ± 12% естеств.
1	♂	4–5	133 140	145 000	0.320	0.611	1.150	285
2	♀	2	14970	9011	–	–	–	415
3	♀	2	15030	17672	0.118	0.351	0.870	433
4	♀	2	18430	15930	0.078	0.286	0.760	309
5	♀	4	6095	10220	–	0.102	0.240	392
6	♂	до года	3400	7042	–	–	–	203
7	♂	до года	6430	12370	–	0.091	0.315	328
8	♂	до года	6950	13348	0.075	0.211	0.421	603
9	♀	2	126.4	1899	–	–	–	110
10	♂	до года	27930	32 175	0.186	0.418	0.967	648
11	♀	до года	9440	11 205	–	0.195	0.512	84
12	♂	4	300	146.70	–	–	–	59
13	♂	до года	24500	38 364	0.092	0.254	0.736	797
14	♀	4–5	17240	33 570	–	0.085	0.325	681
15	♂	2	790	476.5	–	–	–	206
Среднее ± станд. ошибка			18984.76 ± ± 8456.87	23228.61 ± ± 913.69	0.0579 ± ± 0.0239	0.1736 ± ± 0.0475	0.4197 ± 0.1022	370.07 ± ± 58.94
min			126.40	146.70	0.0000	0.0000	0.00	59.00
max			133 140.00	145000	0.3200	0.6110	1.150	797.00

Таблица 2. Удельные активности техногенных радионуклидов (на 2010 г.) в пробах печени косули, Бк/кг сырой массы
Table 2. Specific activity of technogenic radionuclides (in 2010) in liver samples of roe deer, Bk/kg of raw mass

Проба	Пол	Возраст	¹³⁷ Cs ± 7% мышцы	¹³⁷ Cs ± 7%	¹⁵⁴ Eu ± 20%	²⁴¹ Am ± 25%	^{239,240} Pu ± 25%	⁴⁰ K ± 12% естеств.
1	♀	до года	2900	2626	–	0.047	0.025	107
2	♂	2	3010	2645	–	0.032	0.023	164
3	♀	2	5060	2520	–	0.017	0.016	152
4	♀	2	3910	1900	–	0.015	0.021	127
5	♀	2	5395	1310	–	–	0.011	263
6	♂	до года	2360	1326	–	–	0.009	169
7	♂	2	5850	3617	–	0.065	0.031	145
8	♀	до года	52.5	191.5	–	–	–	152
9	♂	до года	2504	2519	–	0.025	0.014	439
10	♂	до года	3680	3511	–	0.074	0.029	193
11	♀	3	3265	2420	–	0.028	0.014	102
12	♀	до года	153	174.5	–	–	–	130
13	♀	2	1860	1 881	–	0.012	0.008	205
14	♂	3	730	650	–	–	–	225
15	♀	2.5	472	266.7	–	–	–	121
Среднее ± станд. ошибка			2746.96 ± ± 482.07	1837.18 ± ± 296.08	–	0.0102 ± ± 0.0209	0.0134 ± 0.0278	179.60 ± ± 21.84
min			52.50	174.50	–	0.00	0.00	102.00
max			5850.00	3617.00	–	0.3200	0.0310	439.00

Таблица 3. Удельные активности техногенных радионуклидов (на 2010 г.) в пробах печени лося, Бк/кг сырой массы
Table 3. Specific activity of technogenic radionuclides (in 2010) in liver samples of moose, Bk/kg of raw mass

Проба	Пол	Возраст	$^{137}\text{Cs} \pm 7\%$ мышцы	$^{137}\text{Cs} \pm 7\%$	$^{154}\text{Eu} \pm 20\%$	$^{241}\text{Am} \pm 25\%$	$^{239,240}\text{Pu} \pm 25\%$	$^{40}\text{K} \pm 12\%$ естеств.
1	♀	3	560	823	—	0.021	0.015	192
2	♂	4	408	365	—	0.011	0.008	124
3	♂	5	152	125.7	—	—	—	56

стичками почвы, загрязненной как летучей составляющей выброса ЧАЭС, так и микрочастицами топлива. Работами ряда авторов [9, 10] показано, что многие радионуклиды, в том числе и трансураниевые элементы, могут поступать из топливной составляющей, которая попадает в организм животного, переходит в раствор и усваивается.

Возраст кабанов и пол не влияют на их накопление ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$. У косуль также не выявлена связь возраста и пола с накоплением этих радионуклидов. Америций и плутоний зарегистрированы как у сеголетков, так и у животных 3–4 лет.

В отличие от кабана, косули и лось питаются только надземными частями растений, и поэтому в их желудочно-кишечный тракт поступает значительно меньше загрязненной земли. Этот результат подтверждает работа [11] по содержанию трансураниевых элементов и ^{137}Cs в экскрементах диких копытных в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС. Показана значительная разница в поступлении этих изотопов разным видам копытных, что приводит к значительным различиям в концентрации этих радионуклидов в экскрементах животных.

ВЫВОДЫ

1. Таким образом, как уже отмечалось выше, дикие копытные на данных территориях, на которых открыта охота на копытных, могут служить источником поступления америция и плутония в организм человека.

2. Также необходимо отметить, что в Брянской области ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ включились в трофические сети и могут быть обнаружены у других животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиоэкологическая обстановка в Брянской области / Под ред. С.А. Ахременко. Брянск, 1996. 68 с. [Radioekologicheskaya obstanovka v Bryanskoj oblasti / Pod red. S.A. Aхremenko. Bryansk, 1996. 68 p. (In Russ.)]
2. Пельгунов А.Н. Паразиты и паразитарные системы в радиационных биоценозах — зона аварии Чернобыльской АЭС. М.: Наука, 2005. 208 с. [Pelgunov A.N.

The parasites and parasitic systems in radiation biocenosis. The Chernobyl accident zone. М.: Nauka, 2005. 208 p. (In Russ.)]

3. Последствия Чернобыльской катастрофы: Здоровье среды / Под ред. В.М. Захарова, Е.Ю. Крысанова. М.: Центр экологической политики России. Моск. Отд. Международного фонда “Биотест”, 1996. 170 с. [Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Environmental Health / Eds V.M. Zakharov, E.Yu. Krysanov. М.: Center for Russian Environmental Policy. Moscow Affiliate of International “Biotest” Foundation, 1996. (In Russ.)]
4. Москалева Ю.И. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 264 с. [Moskaleva Yu.I. Radiobiologiya inkorporirovannykh radionuklidov. М.: Energoatomizdat, 1989. 264 p. (In Russ.)]
5. Бондарь Ю.И., Забродский В.Н., Садчиков В.И., Калинин В.Н. Накопление изотопов 238 , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в органах и тканях кабана на территории белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2015. Т. 55. № 6. С. 646–654. [Bondar Yu.I., Zabrotski V.N., Sadchikov V.I., Kalinin V.N. Accumulation of 238 , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{241}Am in Boar Organs and Tissues on the Territory of the Belarusian Part of the ChNPP Exclusion Zone // Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya. 2015. V. 55. № 6. P. 646–654 (In Russ.)]
6. Конопля Е.Ф., Кудряшов В.П., Гриневиц С.В. и др. Трансураниевые элементы на территории Белоруссии // Радиационная биология. Радиоэкология. 2009. Т. 49. № 4. С. 495–501 [Konoplya E.F., Kudrjashov V.P., Grinevich S.V. et al. Transuranium Elements on the Belarus Territory // Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya. 2009. V. 49. № 4. P. 495–501 (In Russ.)]
7. Бурякова А.А., Павлова Н.Н., Крышев И.И., Каткова М.Н. Динамика и современное состояние радиоэкологической обстановки на территориях аварийного чернобыльского следа в Брянской области // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61. № 3. С. 277–285. [Buryakova A.A., Pavlova N.N., Kryshev I.I., Katkova M.N. Dynamics and Current State of Radioecological Situation on the Territory of the Chernobyl Radioactive Trace in the Bryansk Region // Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya. 2021. V. 61. № 3. С. 277–285 (In Russ.)]
8. Фертников В.Н., Сонин М.Д., Рыковский А.С., Егоров А.Н. Гельминты диких копытных Национального парка “Завидово” и лесной зоны России. Тверь, 1999. 79 с. [Fertnikov V.N., Sonin M.D., Rykovskij A.S., Egorov A.N. Gel'minty dikih kopytnykh Nacional'nogo parka “Zavidovo” i lesnoj zony Rossii. Tver', 1999. 79 (In Russ.)]

9. *Чижевский И.В.* Оценка количественных показателей перехода ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu , ^{241}Am из загрязненной почвы с желудочным и кишечным соками коров // Радиационная биология. Радиоэкология. 2001. Т. 41. № 4. С. 431–434. [*Chizhevsky I.V.* Evaluation of Quantitative Factors ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu , ^{241}Am of Transfer from Polluted Soil at Incubation with Gastric and Intestine Juice of Cows. // Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya. 2001. T. 41. № 4. P. 431–434 (In Russ.)]
10. *Козьмин Г.В., Епимахов В.Г.* Закономерности поведения радиоактивных частиц в пищевой цепочке и желудочно-кишечном тракте крупного рогатого скота // Радиационная биология. Радиоэкология. 2015. Т. 55. № 6. С. 632–645 [*Kozmin G.V., Yepimakhov V.G.* The Patterns of Behavior of Radioactive Particles in the Food Chain of Cattle and Transport in the Gastrointestinal Tract of Animals // Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya. 2015. V. 55. № 6. P. 632–645 (In Russ.)]
11. *Никитин А.Н., Шуранкова О.А., Чешик И.А. и др.* Содержание ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в экскрементах диких копытных животных, обитающих в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2018. Т. 58. № 2. С. 166–173 [*Nikitin A.N., Shurankova O.A., Cheshyk I.A. et al.* Activity Concentration of ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{241}Am in Feces of Wild Hoofed Animals Inhabiting the Exclusion Zone of Chernobyl NPP // Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya. 2018. V. 58. № 2. P. 166–173 (In Russ.)]

Accumulation of Radionuclides in Liver of Three Species of Wild Ungulates in Bryansk Region

A. N. Pelgunov^{a,#} and L. A. Pelgunova^a

^a*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[#]*E-mail: apelgunov@list.ru*

Totals of 15 wild boars, 15 European roe deers and 3 elks were examined over winter 2009–2010 in Zlynkovsky and Novozybkovsky districts of Bryansk region Russia. ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{154}Eu , and ^{137}Cs were recorded in the studied animals. ^{154}Eu was registered only in wild boars from 0.075 to 0.320 Bq/kg r.m. ^{241}Am was registered in all three ungulate species in the range from 0.011 to 0.611 Bq/kg raw mass. $^{239+240}\text{Pu}$ was also registered in all species in the range from 0.008 to 1.15 Bq/kg raw mass. Significant differences in radionuclide accumulation were observed in different species of wild ungulates. The results obtained show that ^{241}Am and $^{239+240}\text{Pu}$ have joined the trophic networks, and this is one of the ways for americium and plutonium to enter the human organism, since hunting for ungulates is open in these territories.

Keywords: radionuclides, ^{241}Am , $^{239-240}\text{Pu}$, ^{154}Eu , wild ungulates, liver, Russia, Bryansk region