

УДК 574.5

## ГЛОБАЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ $^{137}\text{Cs}$ И ЕГО СОДЕРЖАНИЕ В КОРМАХ И ТКАНЯХ ОХОТНИЧЬИХ ЖИВОТНЫХ

© 2021 г. П. И. Собакин\*,<sup>®</sup>, Е. С. Захаров\*, В. М. Сафронов\*

\*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, пр. Ленина, 41, Якутск, 677980 Россия

<sup>®</sup>E-mail: radioecolog@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.04.2019 г.

После доработки 19.11.2019 г.

Принята к публикации 02.12.2019 г.

Получены данные по концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в почвах, кормовых растениях и мышечной ткани семи видов охотничьих животных (дикого северного оленя, лося, косули, кабарги, снежного барана, зайца-беляка и бурого медведя) в тундровой и таёжной зонах Якутии. Показано, что северный олень и кабарга – потребители кустистых лишайников, характеризуются относительно высоким содержанием  $^{137}\text{Cs}$  (до 51.6–75.1 Бк/кг) и могут быть источником его поступления в организм последующего консумента – бурого медведя. Уровни  $^{137}\text{Cs}$  у других растительноядных видов сравнительно невысокие. Мясная продукция ряда видов составляет важный компонент питания населения оленеводческих и охотничье-промысловых районов Крайнего Севера. В настоящее время концентрации радионуклида в тканях исследованных видов не превышают установленной санитарно-гигиенической нормы.

DOI: 10.31857/S1026347021040147

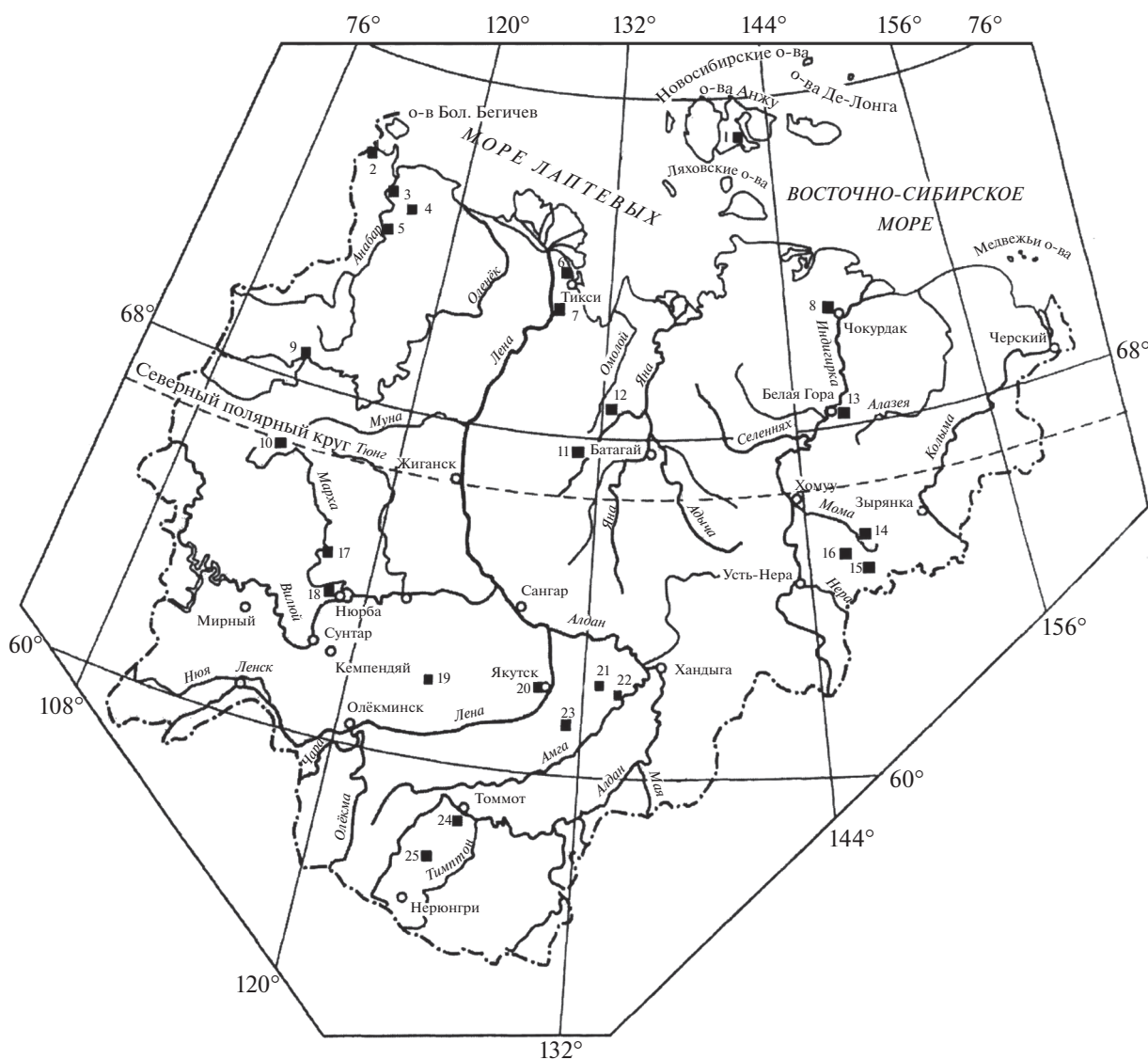
Основным источником загрязнения территории Якутии долгоживущими техногенными радионуклидами были ядерные взрывы, произведенные в 1949–1980 гг., а также известная авария на Чернобыльской АЭС в 1986 г. Плотность загрязнения земной поверхности радионуклидами особенно повышалась при серийных ядерных взрывах в атмосфере в 1955–1958 и 1961–1962 гг., достигла максимума в 1966 г. (Иванов и др., 1997). По данным аэрогамма-спектрометрической съемки, в мерзлотных почвах равнинной части Якутии уровни глобальных выпадений  $^{137}\text{Cs}$  из атмосферы в конце 1960-х гг. составляли 1850–5550 Бк/м<sup>2</sup> (Болтнева и др., 1977). Во время испытаний ядерного оружия наблюдалась повышенная миграция  $^{137}\text{Cs}$  в организм человека в тундровой зоне по пищевой цепи лишайники–олень–человек. Проведенные в этом плане исследования позволили установить географическую изменчивость уровней накопления  $^{137}\text{Cs}$  в лишайниках и тканях северных оленей, связанную с комплексом факторов, включая различия в количестве атмосферных осадков и соответственно плотности радиоактивных выпадений. На северо-востоке страны и, в том числе, в Якутии эти показатели были в два раза ниже, чем на северо-западе, в частности, в Мурманской области (Соколов и др., 1989). Миграция  $^{137}\text{Cs}$  по трофическим цепям других видов млекопитающих, замыкающимся на человеке, особенно в районах проживания коренных малочисленных народов Крайнего

Севера, оставалась не изученной. Имелись некоторые сведения о современных уровнях глобальных выпадений  $^{137}\text{Cs}$  в тундровой и таежной зонах Якутии и особенностей его вертикальной и латеральной миграции в мерзлотных почвах геохимически сопряженных по стоку ландшафтов (Собакин, 2010; Собакин и др., 2019).

Цель настоящего исследования – оценка содержания и распределения  $^{137}\text{Cs}$  в мерзлотных почвах, кормовых растениях и мясной продукции семи охотничьих видов млекопитающих – дикого северного оленя (*Rangifer tarandus*), лося (*Alces alces*), сибирской косули (*Capreolus capreolus*), кабарги (*Moschus moschiferus*), снежного барана (*Ovis nivicola*), зайца-беляка (*Lepus timidus*) и бурого медведя (*Ursus arctos*) в разных эколого-географических зонах Якутии.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал собран в 2004–2018 гг. в тундровой и таежной зонах Якутии (рис. 1). Экспедиционные исследования проводили авиадесантным методом с заброской в разные пункты местности, а также с использованием водного и наземного транспорта. Почвенные образцы отбирали в основном из разрезов на плоских и слабо наклонённых водораздельных поверхностях, на сухоходных террасах долин рек, имея в виду, что данные участки представляют собой наиболее информативные части



**Рис. 1.** Пункты исследований: 1 – о-в Земля Бунге; 2, 3, 4, 5 – Анабаро-Оленекская низменность; 6, 7 – устье р. Лены; 8 – Яно-Индигирская низменность; 9, 10 – Вилуйское плато; 11, 12 – Бытантайское холмогорье; 13 – Абыйская низменность; 14 – Момская впадина; 15 – хр. Улахан-Чистай; 16 – высокогорная равнина Улахан-Чистай; 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 – Центрально-Якутская равнина; 24, 25 – Алданское нагорье.

ландшафтов с относительно слабой латеральной миграцией  $^{137}\text{Cs}$ . Непосредственно отбор проб проводили послойно через каждые 1–5 см с учетом площади и генетических горизонтов до глубины 50 см. Кормовые растения для анализа (кустарники, травы, лишайники) брали близ почвенных разрезов. Растения высушивали до воздушно-сухого состояния и озоляли в муфельной печи при температуре  $450^\circ\text{C}$ . Пробы мышечной ткани диких копытных, зайца-беляка и буроого медведя получены от охотников. Все животные представлены взрослыми особями, добытыми в осенне-зимние периоды: дикий северный олень в количестве 53 экз., лось – 34, косуля – 8, кабарга – 7, снежный баран – 3, заяц-беляк – 3, бурый медведь – 10 особей.

Часть проб с низкой концентрацией  $^{137}\text{Cs}$  предварительно обугливали в металлической посуде и только затем озоляли в муфельной печи. Подавляющее большинство проб использовали в сыром виде. Гамма-спектрометрический анализ на содержание  $^{137}\text{Cs}$  проводили с применением многоканального анализатора ГАММА-01 (НПЦ “Аспект”, Россия) со сцинтилляционным детектором натрия-йод размером  $150 \times 100$  мм. Использовали методику, предложенную Якубович А.Л. и др. (1982). Порог обнаружения  $^{137}\text{Cs}$  при экспозиции 1 ч при массе проб 250 г составлял при данном методе 1–2 Бк/кг. Относительная среднеквадратическая погрешность не превышала  $\pm 30\%$ .

**Таблица 1.** Плотность загрязнения <sup>137</sup>Cs в мерзлотных почвах на территории Якутии

№	Район исследований	Ландшафт (почвы)	<i>n</i> *	Высота над ур. м.	Количество осадков, мм	Бк/м <sup>2</sup>
1	О-в Земля Бунге	Арктическая тундра (тундровые глеевые)	8	5–80	150–200	$\frac{505 \pm 128^{**}}{380-680}$
2–5	Анабаро-Оленекская низменность	Субарктическая тундра (тундровые глеевые, подбуры, болотные)	42	10–150	150–200	$\frac{526 \pm 118}{377-745}$
6–7	Устье р. Лена	Субарктическая тундра (тундровые глеевые, подбуры, болотные)	74	5–100	250–300	$\frac{617 \pm 60}{522-682}$
8	Яно-Индигирская низменность	Субарктическая тундра (тундровые глеевые, подбуры, болотные)	104	10–100	150–200	$\frac{490 \pm 72}{366-587}$
9–10	Вилюйское плато	Северная тайга (дерново-карбонатные, болотные)	144	300–500	250–300	$\frac{865 \pm 70}{797-1090}$
11–12	Быгантайское холмогорье	Северная тайга (северотаежные, болотные)	38	400–700	150–200	$\frac{566 \pm 65}{484-648}$
13	Абыйская низменность	Северная тайга (северотаежные, болотные)	18	100–200	120–250	$\frac{546 \pm 75}{477-645}$
14	Момская котловина	Северная тайга (подбуры, подзолистые, болотные)	32	600–900	200–300	$\frac{918 \pm 66}{807-982}$
15	Хребет Улахан-Чистай	Горная тундра (подбуры тундровые, болотные)	21	1600–2600	400–600	$\frac{1939 \pm 378}{1442-2362}$
16	Высокогорная равнина Улахан-Чистай	Тундра (горно-тундровые глеевые, болотные)	34	1200–1600	350–450	$\frac{1033 \pm 150}{804-1262}$
17–23	Центрально-Якутская равнина	Средняя тайга (палевые, мерзлотно-таежные, аласные)	292	120–300	150–300	$\frac{718 \pm 146}{484-1120}$
24–25	Алданское нагорье	Средняя и верхняя тайга (подбуры, подзолистые, болотные)	288	700–1200	500–600	$\frac{1924 \pm 268}{1456-2465}$

Примечание. № – пункты исследования; \* *n* – число проб; \*\* в числителе – среднее и его ошибка, в знаменателе – пределы колебания.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как установлено, в мерзлотных почвах автоморфных ландшафтов Якутии современные уровни глобальных выпадений <sup>137</sup>Cs варьируют от 366 до 2465 Бк/м<sup>2</sup> (табл. 1). Степень радиоактивного загрязнения почв обследованной территории со стороны Чернобыльской АЭС на данном этапе неизвестна. По данным территориального управления гидрометеослужбы в августе 1987 г., в районе г. Якутска вклад аварийных выбросов Чернобыльской АЭС в накопление <sup>137</sup>Cs верхнего пятисантиметрового слоя почвы не превышал 6% от его

общего запаса (Израэль и др., 1990). В настоящее время уровни загрязнения почв Якутии в целом на один-три порядка величин ниже, чем в Брянской, Калужской, Тульской, Орловской и других центральных областях страны, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС (Изменение ..., 2012; Ашитко и др., 2016).

На обследованных нами участках Анабаро-Оленекской низменности средняя плотность загрязнения почв <sup>137</sup>Cs составляла 526 Бк/м<sup>2</sup>, в устье р. Лены – 617 Бк/м<sup>2</sup>, на Яно-Индигирской низменности – 490 Бк/м<sup>2</sup>, на Вилюйском плато –

865 Бк/м<sup>2</sup>, на Центрально-Якутской равнине – 718 Бк/м<sup>2</sup> (табл. 1). В сравнении с данными аэрогамма-спектральных съемок в 1968–1974 гг. (Болтнева и др., 1977) эти показатели снизились в 3–4 раза, как надо полагать за счет радиоактивного распада, заглупления, выноса с поверхностными водами и аккумуляции растительностью. Наибольшее содержание <sup>137</sup>Cs в почвах выявлено в горно-таежных районах с большим среднегодовым количеством осадков (400–600 мм в год), как на юге (Алданское нагорье), так и на северо-востоке Якутии (хр. Улахан-Чистай), наименьшее – в тундровой зоне с небольшим количеством осадков (150–300 мм). Установлена статистически значимая корреляция между средними величинами выпадения осадков и загрязненности почв радионуклидом ( $r = 0.94$ ,  $P > 0.95$ ). В среднем, по обследованным участкам загрязнение почв <sup>137</sup>Cs в Якутии в 2–4 раза меньше, чем на Урале, в Западной и Южной Сибири, а также в других регионах страны (Собакин, 2015, Собакин и др., 2019).

По данным Якутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, в последние годы уровень выпадений <sup>137</sup>Cs из атмосферы существенно снизился (Государственный..., 2012). Поступление радионуклида в высшие растения происходит в основном через корневую систему при минимальном аэральном влиянии. В исследованных нами кустарниках и травянистых растениях концентрация <sup>137</sup>Cs варьировала от <1 до 4 Бк/кг в воздушно-сухой массе, в среднем, составляла  $1.7 \pm 0.4$  Бк/кг (табл. 2). Низкие показатели радионуклида в растениях свидетельствуют об исходно невысоком уровне загрязненности корнеобитаемого слоя почв. Статистически значимая корреляция между содержанием <sup>137</sup>Cs в растениях и почве отсутствует.

В кустистых лишайниках содержание <sup>137</sup>Cs в 2–29 раз выше, чем в кустарниковых и травянистых растениях (табл. 3). Наибольшее количество <sup>137</sup>Cs обнаружено в лишайниках *Cladonia arbuscula*, *Cladonia stellaris* на Вилюйском плато (до 58–61 Бк/кг) и хр. Улахан-Чистай (до 55 Бк/кг), среднее – на Алданском нагорье (до 45 Бк/кг), наименьшее – на Центрально-Якутской равнине (до 22 Бк/кг). В *Cladonia rangiferina* этого радионуклида также несколько больше в горно-таежных ландшафтах (до 31 Бк/кг), меньше – в равнинной Центральной Якутии (до 18 Бк/кг). Концентрация <sup>137</sup>Cs в лишайниках *Flavocetraria cucullata* и *Flavocetraria nivalis* сильно варьирует по районам, максимальных значений достигает на хр. Улахан Чистай (до 55.0 Бк/кг). В среднем, у *Cladonia* она определена в  $16.1 \pm 4.1$ , у *Flavocetraria* – в  $10.4 \pm 3.9$  Бк/кг. Корреляция между содержанием <sup>137</sup>Cs в почве и лишайниках отсутствует. Это позволяет заключить, что концентрация радионуклида в кустистых лишайниках разных видов, как

и у рассмотренных выше сосудистых растений, мало зависит от его содержания в почвенном покрове.

Средний показатель концентрации <sup>137</sup>Cs в мышечной ткани исследованных животных уменьшается в следующей последовательности: северный олень ( $20.0 \pm 16.3$  Бк/кг,  $n = 53$ ), кабарга ( $15.1 \pm 15.4$  Бк/кг,  $n = 7$ ), косуля ( $4.8 \pm 1.8$  Бк/кг,  $n = 8$ ), медведь ( $4.8 \pm 9.7$ ,  $n = 10$ ), лось ( $3.8 \pm 3.6$  Бк/кг,  $n = 34$ ), снежный баран ( $1.5 \pm 0.6$ ,  $n = 3$ ), заяц-беляк ( $1.1 \pm 0.3$ ,  $n = 3$  Бк/кг) (табл. 4). Высокие уровни этого радионуклида, отмеченные у северного оленя и кабарги, согласуются с большим потреблением ими лишайников (Сафронов, 2005), аккумулирующих <sup>137</sup>Cs. Повышенным содержанием радионуклида, по нашим данным, характеризуются также грибы (от 4 до 74 Бк/кг сырой массы) – один из важных наживочных кормов этих видов копытных. Максимальные показатели <sup>137</sup>Cs у северного оленя отмечены на Вилюйском плато (до 75.1 Бк/кг), средние – на Абыйской низменности (до 24.1 Бк/кг) и Алданском нагорье (до 31.0 Бк/кг), наименьшие – в тундровой зоне (до 12.4 Бк/кг) и на Центрально-Якутской равнине (до 9.7 Бк/кг). Констатируется тесная корреляция между количеством <sup>137</sup>Cs в тканях оленей и потребляемых ими лишайниках ( $r = 0.91$ ,  $P > 0.95$ ). В виде аппроксимирующей кривой эта зависимость показана на рис. 2. Получены данные о значительной концентрации <sup>137</sup>Cs в лишайниковом содержимом рубцов оленей (10–15 Бк/кг воздушно-сухой массы), подтверждающие его поступление из объекта питания. Примечательно, что содержание <sup>137</sup>Cs у северного оленя в наших пробах в среднем в 20 раз меньше, чем по данным В.Е. Соколова с соавторами (1989) за 1950–1960 гг. (400 Бк/кг).

В пробах кабарги, которая постоянно поедает лишайники во всех районах обитания (до 100% встреч в содержимом желудков) (Тавровский и др., 1971), ландшафтно-биотопические различия в концентрации радионуклида, не обнаружены. Максимальный показатель отмечен в Центральной Якутии (до 51.6 Бк/кг). На третьем месте по содержанию <sup>137</sup>Cs находится косуля (до 7.1 Бк/кг), что находит связь с большим потреблением лишайников (до 50%), а также грибов (до 63–84%) (Тавровский и др., 1971). При этом у европейской косули в Брянской области, обитающей в районе радиоактивного загрязнения (900–43000 Бк/кг сырой массы), содержание <sup>137</sup>Cs в мышечной ткани (Пельгунов, Пельгунова, 2009) в среднем на три порядка величин больше, чем в Якутии. Далее по частоте употребления лишайников и грибов в пищу (соответственно 15 и 23%) и уровню <sup>137</sup>Cs в организме идет лось (табл. 4). Замыкает ряд лихенофагов – потребителей лишайников – снежный баран с низким содержанием радионуклида (в среднем, 1.5 Бк/кг), что требует уточнения в по-

Таблица 2. Содержание <sup>137</sup>Cs в кустарниковых и травянистых растениях

Район исследований	Место отбора проб	Вид, орган	n*	Бк/кг воздушно-сухой массы	
Тундра					
Анабаро-Оленекская и Яно-Индигирская низменности	Водоразделы рр. Анабар и Индигирка	Ива полярная	Листья	8	2.0 ± 0.8 (1–3)**
			Ветви	8	2.2 ± 0.9 (1–4)
		Береза тощая	Листья	7	1.0 ± 0.8 (<1–2)
			Ветви	7	1.3 ± 0.6 (<1–2)
		Пушица влагалищная	Надземная часть	9	0.8 ± 0.3 (<1–1)
		Осока	Надземная часть	8	1.2 ± 0.6 (1–2)
Северная тайга					
Вилюйское плато	Водоразделы рр. Далдын и Сытыкан	Ива скальная	Листья	8	1.7 ± 0.6 (<1–2)
			Ветви	8	2.1 ± 1.2 (<1–3)
		Береза кустарниковая	Листья	10	1.8 ± 0.8 (<1–3)
			Ветви	10	2.0 ± 0.9 (1–4)
	Пойма р. Далдын	Пушица влагалищная	Надземная часть	6	0.9 ± 0.8 (<1–2)
	Пойма р. Сытыкан	Осока	Надземная часть	6	0.9 ± 0.8 (<1–2)
Быгантайское холмогорье	Водораздел и пойма р. Быгантай	Ива	Листья	4	1.7 ± 0.9 (1–3)
			Ветви	4	1.8 ± 1.4 (<1–4)
		Разнотравье	Надземная часть	5	1.1 ± 0.6 (<1–2)
Средняя тайга					
Центрально-Якутская равнина	Долины и водоразделы рр. Лена и Амга Долина р. Амга и аласы Лено-Амгинского междуречья	Ива	Листья	7	1.7 ± 0.7 (<1–2)
			Ветви	7	1.8 ± 0.4 (1–2)
		Береза кустарниковая	Листья	12	1.6 ± 1.1 (<1–3)
			Ветви	12	1.7 ± 1.0 (<1–3)
		Разнотравье	Надземная часть	11	1.4 ± 0.7 (<1–2)
		Осока	Надземная часть	11	1.7 ± 0.6 (<1–2)
Горная тундра и тайга (верхняя и средняя)					
Хребет Улахан-Чистай и Алданское нагорье	Поймы и водоразделы рр. Большой Нагаин, Сугун, Алдан, Тимптон, и др.	Ива Шверина	Листья	13	2.1 ± 0.9 (1–4)
			Ветви	13	2.2 ± 0.8 (1–4)
		Береза кустарниковая	Листья	16	1.7 ± 0.6 (<1–3)
			Ветви	16	2.0 ± 0.8 (1–4)
		Береза тощая	Листья	5	2.2 ± 1.5 (<1–4)
			Ветви	5	2.7 ± 1.5 (1–5)
		Вейник Лангсдорфа	Надземная часть	17	1.5 ± 0.6 (1–3)
		Осока	Надземная часть	18	1.8 ± 0.7 (1–3)
		Разнотравье	Надземная часть	12	1.6 ± 0.6 (1–4)

Примечание. \* n – число проб; \*\* в скобках – пределы колебания для табл. 2, 3.

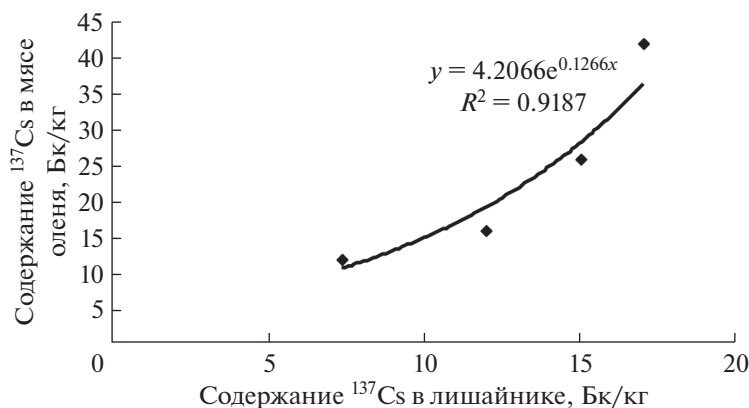
**Таблица 3.** Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в кустистых лишайниках

Район исследований	Место отбора проб	Вид	<i>n</i>	Бк/кг воздушно-сухой массы
Тундра				
Яно-Индигорская низменность	Водораздел р. Индигирка	<i>Flavocetraria cucullata</i>	10	12.1 ± 3.4 (6–18)
Анабаро-Оленекская низменность	Водораздел р. Анабар	<i>Flavocetraria cucullata</i>	9	9.3 ± 2.4 (6–14)
		<i>Flavocetraria nivalis</i>	8	5.5 ± 1.6 (4–9)
Северная тайга				
Вилуйское плато	Водоразделы рр. Марха, Далдын и Тюнг	<i>Cladonia arbuscula</i>	17	23.5 ± 13.9 (7–61)
		<i>Cladonia stellaris</i>	16	17.1 ± 12.2 (6–58)
		<i>Flavocetraria cucullata</i>	18	11.1 ± 5.2 (5–22)
Средняя тайга				
Центрально-Якутская равнина	Водоразделы рр. Лена и Амга	<i>Cladonia arbuscula</i>	14	11.4 ± 4.9 (4–22)
		<i>Cladonia rangiferina</i>	16	12.7 ± 3.7 (8–18)
		<i>Cladonia stellaris</i>	15	10.6 ± 2.9 (6–16)
		<i>Flavocetraria cucullata</i>	17	7.2 ± 2.1 (4–12)
Горная тундра и тайга (верхняя и средняя)				
Хребет Улахан-Чистай	Водораздел р. Улахан-Нагаин	<i>Flavocetraria cucullata</i>	7	17.6 ± 15.2 (10–55)
Алданское нагорье	Водоразделы притоков р.Алдан	<i>Cladonia arbuscula</i>	21	19.2 ± 6.8 (5–41)
		<i>Cladonia rangiferina</i>	19	18.3 ± 4.3 (7–31)
		<i>Cladonia stellaris</i>	22	16.2 ± 9.4 (4–45)
		<i>Flavocetraria cucullata</i>	20	10.2 ± 3.3 (4–16)

следующих исследованиях, поскольку кустистые лишайники и грибы в значительном количестве потребляются этим видом (до 40–100%) (Тавровский и др., 1971). Заяц-беляк в описанной миграции радионуклида не участвует и в малой степени подвержен его воздействию.

Бурый медведь характеризуется небольшим уровнем концентрации  $^{137}\text{Cs}$  (табл. 4). Как исклю-

чение отмечено повышенное содержание радионуклида у медведя в возрасте более 10 лет (32.0 Бк/кг) на Алданском нагорье, связанное, как можно предположить, с поеданием оленя или кабарги и сохранившееся в организме. Копытные составляют в питании медведя небольшой процент (1.2–1.6%) (Тавровский и др., 1971), как, вероятно, и данный случай их добычи, повысивший поступление  $^{137}\text{Cs}$

**Рис. 2.** Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани северного оленя и кустистых лишайниках.

**Таблица 4.** Содержание <sup>137</sup>Cs в мышечной ткани охотничьих видов млекопитающих

Район исследований	Место отбора проб	Вид	n	Бк/кг сырой массы
Тундра				
Анабаро-Оленекская низменность	Водораздел р. Анабар	Олень	8	7.2 ± 2.9 (4.0–11.5)
Устья р. Лена	Водораздел р. Лена	Олень	3	7.6 ± 4.5 (2.4–10.8)
Яно-Индибирская низменность	Водораздел р. Индибирка	Олень	3	10.0 ± 5.2 (6.2–12.4)
Северная тайга				
Вилуйское плато	Водоразделы рр. Далдын и Марха	Олень	17	36.7 ± 15.6 (13.6–75.1)
		Лось	7	5.4 ± 5.8 (0.8–14.8)
Быгантайское нагорье	Водоразделы и долины р. Быгантай	Лось	3	3.1 ± 2.5 (1.0–5.6)
		Медведь	3	3.5 ± 3.1 (0.6–6.8)
		Заяц-беляк	3	1.1 ± 0.3 (0.8–1.3)
Абыйская низменность	Водоразделы и долины притоков р. Индибирка	Олень	4	16.6 ± 8.3 (6.7–24.1)
		Лось	4	5.6 ± 4.1 (1.5–10.1)
Средняя тайга				
Центрально-Якутская равнина	Водоразделы и долины рр. Лена, Тагта и Амга	Олень	5	7.3 ± 2.5 (4.0–9.7)
		Лось	13	2.8 ± 2.0 (0.7–6.5)
		Косуля	8	4.8 ± 1.8 (1.4–7.1)
		Кабарга	4	18.1 ± 19.3 (3.9–51.6)
		Медведь	3	0.8 ± 0.2 (0.6–1.0)
Горная тундра и тайга (верхняя и средняя)				
Хребет Улахан-Чистай	Водоразделы рр. Улахан-Нагаин и Сугун	Снежный баран	3	1.5 ± 0.5 (1.0–2.1)
Момская котловина	Водоразделы и долина р. Мома	Лось	3	3.8 ± 3.9 (1.4–8.4)
Алданское нагорье	Водоразделы и долины притоков р. Алдан	Олень	7	17.2 ± 7.2 (6.8–31.0)
		Лось	3	2.1 ± 1.1 (1.0–3.2)
		Кабарга	3	8.7 ± 1.9 (6.8–11.4)
		Медведь	4	8.9 ± 15.3 (0.5–32.0)

в мясо хищника. Необходимо отметить, что к лихенофагам, кроме рассмотренных выше, относятся разные виды лесных и тундровых полевок, составляющие кормовую базу многочисленных мелких и средних хищников (ласки, горностая, соболя, песца и др.), также вовлекаемых в распространение рассматриваемого радионуклида по трофическим цепям.

По нашим материалам, мясо крупного рогатого скота и лошадей на территории Якутии характеризуется низким уровнем <sup>137</sup>Cs (0.5–2.2 Бк/кг

сырой массы), что согласуется с небольшим содержанием радионуклида в травянистых растениях. В коне- и скотоводческих районах республики ожидаемая внутренняя доза облучения населения за счет <sup>137</sup>Cs при среднегодовом потреблении мяса 0.134 кг/сут. может составлять в среднем 1 мкЗв в год (Дарбасов, Никифоров, 2007; Рамзаев и др., 2008). В оленеводческих и охотничье-промысловых районах этот показатель, исходя из наших данных, может достигать 10 мкЗв в год и более, что на современном этапе ниже установленных

норм (1 мЗв) и не является опасным для населения (Гигиенические..., 2002; Нормы..., 2009).

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в тканях северного оленя, кабарги, косули, лося, снежного барана, зайца-беляка и бурого медведя значительно варьирует (0.5–75.1 Бк/кг сырой массы) в зависимости от видовой принадлежности, распространения, мест обитания и состава питания. Их использование в качестве видов-идентификаторов радиоактивного загрязнения окружающей среды возможно только при наличии значительного количества данных. Максимальное количество радионуклида выявлено у северного оленя и кабарги, в наибольшем количестве потребляющих кустистые лишайники. Повышенное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в лишайниковом содержимом желудков оленей свидетельствует о поступлении изотопа из съеденного корма. Ландшафтно-географическая изменчивость содержания  $^{137}\text{Cs}$  у растительноядных видов млекопитающих, в общем, соответствует его уровням в растительном покрове с тенденцией повышения в районах с горным и приподнятым рельефом со сравнительно большим количеством атмосферных осадков. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  у северного оленя значительно уменьшилось в сравнении с 1950–1960 гг. что может объясняться снижением его концентрации в лишайниках, происходящим под действием естественных процессов радиоактивного распада и вымывания. Установленные концентрации радионуклида в мясе исследованных видов в текущий период не превышают существующие санитарно-гигиенические нормы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проектам: № 0297-2021-0027, ЕГИСУ НИИОКТР № АААА-А21-121012190033-5 и № 0297-2021-0044, ЕГИСУ НИОКТР № 121020500194-9.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ашитко А.Г., Золочевский Д.В., Овсянникова Л.В., Рожкова С.А.* Радиационная обстановка на территории Калужской области 30 лет спустя после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9. № 2. С. 40–47.
- Болтнева Л.И., Израэль Ю.А., Ионов В.А., Назаров И.М.* Глобальное загрязнение  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  и дозы внешнего облучения на территории СССР // Атомная энергия. 1977. Т. 42. Вып. 5. С. 355–358.
- Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН. 2.3.2.1078-01. М.: ФГУН “ИнтерСЭН”, 2002. 168 с.
- Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2011 г. Якутск: Компания Дани-Алмаз. 2012. 113 с.
- Дарбасов В.Р., Никифоров А.Г.* Продовольственное обеспечение Якутии. (Теория, опыт, проблемы). Новосибирск: Наука, 2007. 212 с.
- Иванов А.Б., Красилов Г.А., Логачев В.А., Матущенко А.М., Сафронов В.Г.* Северный полигон Новая Земля – радиэкологические последствия ядерных испытаний. М.: 1997. 68 с.
- Израэль Ю.А., Вакуловский С.М., Ветров В.А., Петров В.Н., Ровинский Ф.Я., Стукин Е.Д.* Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 296 с.
- Изменение природной среды России в XX веке. М.: Молнет, 2012. 404 с.
- Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Гигиенические нормативы. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009. 72 с.
- Пельгунов А.Н., Пельгунова Л.А.* Роль разных видов охотничье-промысловых животных в формировании дозы облучения населения на территориях, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  // Радиационная биология. Радиэкология. 2009. Т. 49. № 2. С.234–237.
- Рамзаев В.П., Травникова И.Г., Басалаев Л.Н., Брук Г.Я., Голиков В.Ю., Мишин А.С., Браун Дж.Е., Странд П.* О влияние подземных ядерных взрывов “Кратон-3” и “Кристалл” на радиационно-гигиеническую обстановку в близлежащих населенных пунктах // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1. № 2. С. 14–19.
- Соколов В.Е., Криволицкий Д.А., Усачев В.Л.* Дикие животные в глобальном радиэкологическом мониторинге. М.: Наука, 1989. 150 с.
- Сафронов В.М.* Экология и использование дикого северного оленя в Якутии. Якутск: ЯФ ГУ “Изд-во СО РАН”, 2005. 178 с.
- Собакин П.И.* Миграция  $^{137}\text{Cs}$  в мерзлотных почвах Якутии // Радиационная биология. Радиэкология. 2010. Т. 50. № 5. С. 590–598.
- Собакин П.И.* Естественные и искусственные радионуклиды в мерзлотных почвах Якутии: Автореф. дис. ... док. биол. наук. Улан-Удэ. 2015. 39 с.
- Собакин П.И., Чевычелов А.П., Герасимов Я.Р.* Географические особенности загрязнения территории Якутии цезием-137 // География и природные ресурсы. 2019. № 9. С. 112–123.
- Тавровский В.А., Егоров О.В., Кривошеев В.Г., Попов М.В., Лабутин Ю.В.* Млекопитающие Якутии. М.: Наука, 1971. 660 с.
- Якубович А.Л., Зайцев Е.И., Пржиялковский С.М.* Ядерно-физические методы анализа горных пород. М.: Энергоатомиздат, 1982. 264 с.



## Global Pollution of the Territory of Yakutia $^{137}\text{Cs}$ and its Content in Feeds and Tissues of Game Animals

P. I. Sobakin<sup>1, #</sup>, E. S. Zakharov<sup>1</sup>, and V. M. Safronov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of biological problems of cryolithozone SB RAS, Lenin Ave. 41, Yakutsk, 677980 Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: radioecolog@yandex.ru*

The data on the concentration of  $^{137}\text{Cs}$  in soils, forage plants and muscle tissue of seven species of hunting animals (wild reindeer, elk, roe, musk deer, snow sheep, white hare and brown bear) in the tundra and taiga zones of Yakutia are considered. It is shown that reindeer and musk deer are consumers of bushy lichens, characterized by a relatively high content of  $^{137}\text{Cs}$  (up to 51.6–75.1 Bq/kg) and can be a source of its entry into the body of the subsequent consulate – brown bear. Levels of  $^{137}\text{Cs}$  in other herbivorous species are relatively low. Meat products of a number of species are an important component of nutrition of the population of reindeer herding and hunting-fishing areas of the Far North. Currently, the isotope concentrations in the tissues of the studied species do not exceed the established sanitary and hygienic norms.