

УДК 574.577.39

РАДИОНУКЛИДЫ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ В РАСТЕНИЯХ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

© 2015 г. Л. Н. Михайловская, И. В. Молчанова, М. Г. Нифонтова

Институт экологии растений и животных УрО РАН

620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

e-mail: molchanova_i_v@mail.ru

Поступила в редакцию 15.10. 2013 г.

На территории Уральского региона между 55° и 57° с.ш. фоновый уровень загрязнения почвы составляет 0.2–3.5 кБк/м² для ⁹⁰Sr и 1.0–7.6 кБк/м² для ¹³⁷Cs. Среднее содержание ⁹⁰Sr в наземной массе травянистых растений, мхов и лишайников совпадает, а для ¹³⁷Cs во мхах и лишайниках оно значительно выше, чем в травянистых растениях. Максимальный диапазон изменчивости накопительной способности по отношению к ⁹⁰Sr отмечен у травянистых растений, а к ¹³⁷Cs – у мхов. Внутри каждой таксономической группы содержание радионуклидов определяется видовыми особенностями растений.

Ключевые слова: радионуклиды, глобальные выпадения, региональный фон, накопление растениями, Уральский регион.

DOI: 10.7868/S0367059715010126

Формирование глобального радиоактивного загрязнения биосферы Земли искусственными радионуклидами началось в середине прошлого века в результате массированных испытаний ядерного оружия. В настоящее время в поясе между 50° и 60° с.ш. содержание в почвах ⁹⁰Sr, обусловленное глобальными выпадениями из атмосферы, составляет 1.3 кБк/м², а ¹³⁷Cs – 2.2 кБк/м² (Атлас геоэкол. карт..., 2007). Определенный вклад в формирование глобального загрязнения почвенно-растительного покрова вносят дополнительные источники, имеющиеся в регионах с высокой техногенной нагрузкой. В результате почвенно-растительный покров на территории Уральского региона характеризуется повышенным содержанием ¹³⁷Cs, по сравнению с его средним уровнем, наблюдаемым на тех же широтах Северного полушария (Трапезников и др., 2007).

Сформировавшийся глобальный радиоактивный фон загрязнения биосферы Земли искусственными радионуклидами стал одним из экологических факторов. Изучение закономерностей его формирования и включения искусственных радионуклидов в биологический круговорот остается актуальной задачей современных радиоэкологических исследований.

Цель настоящей работы заключается в изучении особенностей накопления ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs глобальных выпадений представителями разных так-

сономических групп наземных растений Уральского региона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводили в период с 2000 по 2012 г. на территории Уральского региона, ограниченной 55°–57° с.ш., которая в административном отношении находится в пределах Свердловской, Челябинской и Курганской областей. Согласно лесорастительному и геоботаническому районированию, северная часть территории относится к тагило-исетскому южно-таежному плоскоувалистому макрорайону таежной области Уральской равнинно-горной страны, южная – к Зауральской лесостепи. На обследованной территории распространены смешанные сосново-лиственные леса, березовые, березово-осиновые колки, реже – сосновые леса. Широко представлена луговая и лугово-степная растительность. Видовое разнообразие травянистых растений включает сотни видов, относящихся к десяткам семейств (Дьяченко и др., 1988; Позолотина и др., 2008). Вся территория носит следы интенсивного воздействия человека, на лугах и опушках леса часто встречаются рудеральные растения: *Urtica dioica*, *Achillea millefolium*, *Arctium tomentosum*, *Tussilago farfara*, *Taraxacum officinale*, *Cirsium heterophyllum*, *Bromopsis inermis*, *Leonurus quinquelobatus* и др. Мохово-лишайниковый покров развит слабо. Сооб-

Таблица 1. Запас техногенных радионуклидов в почвах

Ландшафт	Экосистема	^{90}Sr , кБк/м ²		^{137}Cs , кБк/м ²		$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$
		Min–max	$M \pm \sigma$	Min–max	$M \pm \sigma$	
Автоморфный	Лес	0.4–3.5	1.5 ± 0.3	1.4–7.6	4.4 ± 0.7	0.48 ± 0.10
	Луг	0.8–3.4	1.8 ± 0.4	1.2–7.6	4.0 ± 1.3	0.55 ± 0.12
Гидроморфный	Луг	0.2–1.5	0.9 ± 0.2	1.0–6.7	3.9 ± 0.7	0.28 ± 0.07

Примечание. M – среднее значение, σ – среднеквадратическая ошибка.

Таблица 2. Удельная активность почв автоморфных и гидроморфных элементов ландшафта (1 – лес, 2 – суходольный луг, 3 – пойменный луг)

Образец, глубина, см	^{90}Sr , Бк/кг			^{137}Cs , Бк/кг		
	1	2	3	1	2	3
Ветошь	–	50.9 ± 11.8	102.0 ± 36.0	–	31.1 ± 1.5	3.1 ± 0.3
Лесная подстилка	42.2 ± 7.9	–	–	9.6 ± 0.7	–	–
Почва: 0–5	22.0 ± 2.0	15.2 ± 1.5	9.3 ± 1.0	45.7 ± 3.2	102.2 ± 4.6	74.8 ± 3.7
5–10	4.8 ± 0.5	7.9 ± 0.7	2.8 ± 0.3	12.6 ± 0.9	56.2 ± 3.9	37.0 ± 2.5
10–15	3.7 ± 0.4	2.8 ± 0.3	2.8 ± 0.3	3.7 ± 0.3	21.3 ± 1.8	5.7 ± 0.8
15–20	2.2 ± 0.3	3.2 ± 0.3	Не обн.	1.5 ± 0.3	6.1 ± 0.5	Не обн.

шества лишайников и мхов образованы в основном представителями родов *Cladina*, *Cladonia*, *Cetraria*, *Dicranum*, *Hylocomium*, *Pleurozium*, *Polytrichum*.

Реперные участки располагали на контрастных по водному режиму автоморфных (водораздельных) и гидроморфных (прирусловых поймы рек, берега озер и болот) элементах ландшафта. Исключали территории, находящиеся в зоне воздействия предприятий ядерного топливного цикла, как, например, Белоярская атомная электростанция и производственное объединение “Маяк”.

Пробы почв, надземной массы травянистых и древесных растений, слоевищ лишайников, дерновинок мхов (2–5 повторностей) отбирали в наиболее распространенных экосистемах (смешанные леса, березовые колки, луга). Всего в ходе исследований было опробовано 46 реперных участков.

Содержание $^{137}, ^{134}\text{Cs}$ определяли на многоканальных гамма-анализаторах фирмы “Canberra-Packard” и “ORTEC” (США), ^{90}Sr – на бета-спектрометре с программным обеспечением “Прогресс” (Россия) или радиохимическим методом по дочернему ^{90}Y , с последующей радиометрией осадков на альфа-бета радиометре УМФ-2000 (Россия). Пределы обнаружения 0.1–0.2 Бк. Погрешность методов не превышала 20%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали, что запасы ^{90}Sr на обследованной территории Уральского региона варьируют в пределах 0.2–3.5 кБк/м², а ^{137}Cs – 1.0–7.6 кБк/м² (табл. 1). Уровни загрязнения почв лесных и луговых экосистем автоморфных участков ландшафта практически одинаковы ($t_{\text{эксп}} = 1.00$ – 2.047 , $t_{\text{теор}} = 2.086$ при $p = 0.05$) и в среднем составляют 1.5–1.8 и 4.0–4.4 кБк/м² для ^{90}Sr и ^{137}Cs соответственно. В почвах гидроморфных участков с близким залеганием грунтовых вод и регулярно затапливаемых паводковыми водами запасы ^{137}Cs примерно такие же, а ^{90}Sr достоверно ниже, чем на автоморфных элементах рельефа ($t_{\text{эксп}} = 5.63$ – 7.06 , $t_{\text{теор}} = 2.086$ при $p = 0.05$).

Вертикальное распределение радионуклидов в профиле типичных для Уральского региона почв приведено в табл. 2. Максимальная удельная активность ^{90}Sr наблюдается в органогенных образованиях (лесная подстилка, ветошь), а ^{137}Cs – в верхнем 0–5 см слое почв. Вниз по почвенному профилю содержание обоих радионуклидов снижается, достигая минимальных значений на глубине 15–20 см.

Таким образом, в настоящее время искусственные радионуклиды, формирующие современный фоновый уровень загрязнения, находятся в пределах верхнего корнеобитаемого слоя почв.

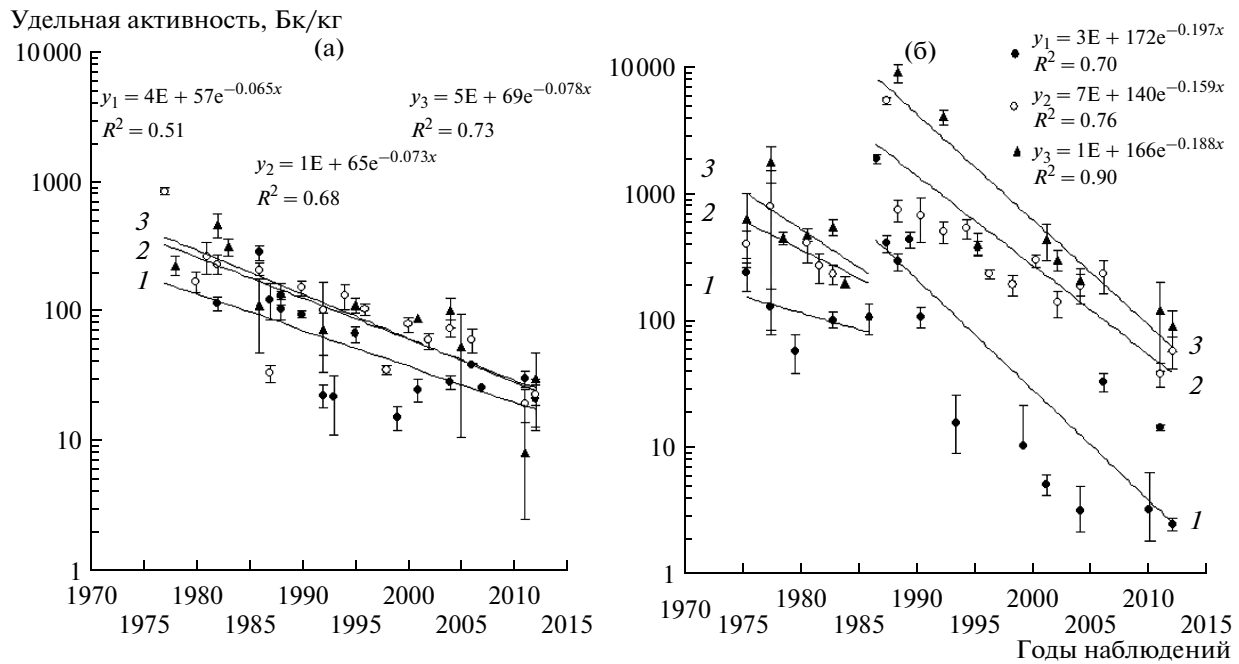


Рис. 1. Удельная активность ^{90}Sr (а) и ^{137}Cs (б) в биомассе растений разной таксономической принадлежности. 1 – травы, 2 – мхи, 3 – лишайники.

Учитывая длительный период и сложный характер формирования фонового загрязнения почвенного покрова, мы оценили изменение содержания радионуклидов в биомассе растений разной таксономической принадлежности с течением времени (рис. 1), используя имеющуюся базу данных за период с 1975 г. по 2012 г. Видно, что удельная активность ^{90}Sr в биомассе травянистых растений, напочвенных мхов и эпифитных лишайников совпадает и уменьшается с течением времени по экспоненциальному закону. По такому же закону изменяется и содержание ^{137}Cs . Однако в 1986 г., после Чернобыльской аварии, уровень загрязнения растительного покрова этим радионуклидом резко возрос. В поставарийный период его содержание в растениях продолжало закономерно снижаться, и в настоящее время оно примерно на порядок величин ниже, чем в 1975 г. Частично это обусловлено радиоактивным распада-

дом, за счет которого содержание в растениях в период наблюдения могло уменьшиться лишь в 2.5 раза. Следует отметить, что удельная активность ^{137}Cs во мхах и лишайниках была достоверно выше, чем в надземной массе трав. В определенной степени это связано с тем, что многие представители низших растений относятся к каллефильным организмам.

Оценка вклада аварийных выпадений АЭС «Фукусима-1» в загрязнение надземной массы растений в 2011 г. показала, что они привнесли от 1.9 до 26.6% ^{137}Cs в расчете от его современного фонового содержания (табл. 3). Удельная активность ^{137}Cs аварийных выпадений в эпифитных лишайниках (1.8 Бк/кг), напочвенных мхах (1.9 Бк/кг) и хвое древесных растений (0.5 Бк/кг) была выше, чем в листьях древесных и надземной массе травянистых растений, вегетационный период которых на Урале начался позже аварии.

Таблица 3. Удельная активность ^{137}Cs в биомассе растений разной таксономической принадлежности (2011 г.)

Объект исследования	Часть растения	Удельная активность, Бк/кг	Вклад аварийных выпадений	
			Бк/кг	%
Деревья	Хвоя	1.8 ± 0.7	0.5 ± 0.1	26.6
	Листья	4.4 ± 1.2	0.2 ± 0.1	4.5
Травы	Надземная масса	7.3 ± 3.5	0.3 ± 0.2	3.7
Лишайники	Биомасса	96.3 ± 28.1	1.8 ± 0.8	1.9
Мхи	Биомасса	43.7 ± 11.2	1.9 ± 1.1	4.4

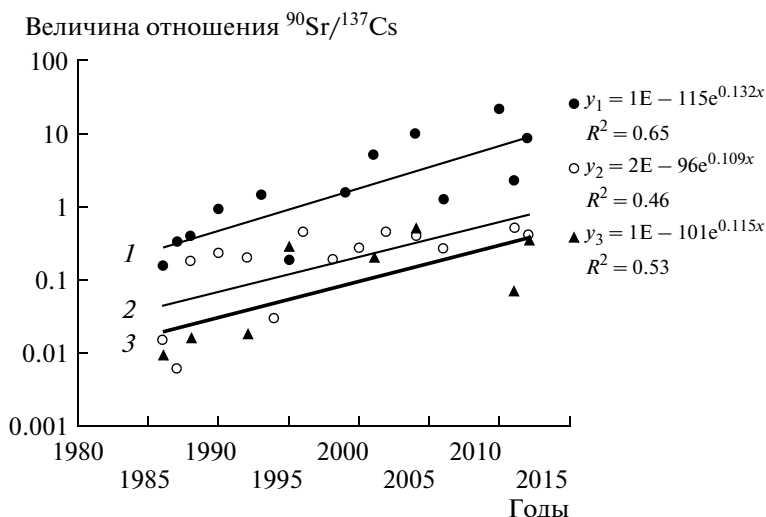


Рис. 2. Величина радионуклидного отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в биомассе растений разной таксономической принадлежности.

1 – травы, 2 – мхи, 3 – лишайники.

На фоне общего снижения содержания радионуклидов в растениях с течением времени имеет место относительное их обогащение ^{90}Sr , о чем свидетельствует возрастание отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в период с 1986 по 2012 г. (рис. 2). В более ранний период эта тенденция была выражена в меньшей степени. По-видимому, снижение и последующая стабилизация интенсивности глобальных радиоактивных выпадений, вызванная запретом на испытание ядерного оружия, привели к преобладанию поступления радионуклидов в растения из субстратов, на которых они произрастают. Наблюдаемое увеличение отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в

высших растениях обусловлено способностью ^{137}Cs с течением времени прочно фиксироваться почвами и переходить в недоступные для поглощения растениями формы. Для эпифитных лишайников повышение содержания ^{90}Sr относительно ^{137}Cs может быть связано с дополнительным поступлением нуклида со смывами с кроны и стволов деревьев (Нифонтова, Куликов, 1977). Следует отметить, что величина радионуклидного отношения зависит от таксономической принадлежности растений и возрастает в ряду лишайники > мхи > травы.

Как было показано выше (см. рис. 1), в относительно короткий период наших исследований (2000–2012 гг.) наблюдалась высокая вариабельность данных. Усреднив их, мы сравнили уровень и диапазон изменчивости современного содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в надземной массе растений разной таксономической принадлежности (рис. 3). Проведенные расчеты показали, что средняя удельная активность ^{90}Sr в травах составляет 40 Бк/кг, во мхах – 70 Бк/кг и в лишайниках – 50 Бк/кг, а ^{137}Cs – 3.3, 180 и 130 Бк/кг соответственно. Для ^{90}Sr максимальный диапазон изменчивости наблюдается в группе травянистых растений (2.5–540 Бк/кг), для ^{137}Cs – у мхов (40–1200 Бк/кг). В такие же пределы, как и у травянистых растений, укладывается и современный уровень содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в надземных органах (хвоя, листья, осевые органы) деревьев и кустарников (Михайловская и др., 2012).

Определив диапазон изменчивости накопительной способности крупных таксономических групп растений, мы попытались оценить вклад более мелких таксономических единиц в его фор-

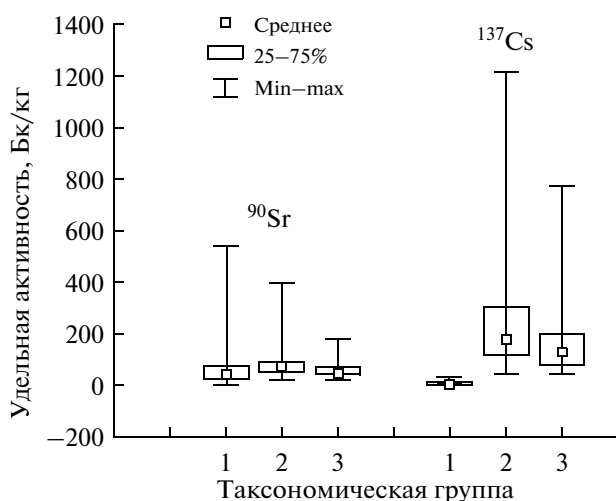


Рис. 3. Диапазоны изменчивости удельной активности радионуклидов в надземной массе растений разной таксономической принадлежности.

1 – травы, 2 – мхи, 3 – лишайники.

Таблица 4. Содержание радионуклидов в надземной массе лугового и лесного разнотравья автоморфных участков ландшафта, Бк/кг

Класс	Семейство	Вид	⁹⁰ Sr		¹³⁷ Cs	
			М, Бк/кг	CV, %	М, Бк/кг	CV, %
Dicotyledoneae	Fabaceae	<i>Vicia cracca</i>	74.4	24.1	4.2	42.9
		<i>Trifolium pratense</i>	64.8	49.2	8.0	91.3
		<i>Medicago falcata</i>	51.0	36.3	5.7	40.4
		<i>Melilotus albus</i>	29.7	36.7	1.2	33.3
	Caryophyllaceae	<i>Melandrium album</i>	90.5	4.3	4.5	40.0
		<i>Stellaria media</i>	78.4	55.0	5.5	7.3
	Polygonaceae	<i>Rumex confertus</i>	21.5	50.2	2.8	32.1
	Lamiaceae	<i>Leonurus quinquelobatus</i>	37.1	20.2	0.5	10.0
	Apiaceae	<i>Aegopodium podagraria</i>	57.8	14.5	5.1	15.7
		<i>Heracleum sibiricum</i>	47.8	65.3	4.1	4.9
	Urticaceae	<i>Urtica dioica</i>	63.4	15.0	7.3	15.1
	Brassicaceae	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	21.5	11.9	4.2	16.7
	Rubiaceae	<i>Galium verum</i>	41.4	125.3	3.4	123.5
		<i>G. boreale</i>	43.9	23.0	4.7	53.2
	Boraginaceae	<i>Pulmonaria mollissima</i>	79.5	33.3	9.2	4.3
	Onagraceae	<i>Chamaenerion angustifolium</i>	28.3	45.6	4.2	76.2
	Rosaceae	<i>Fragaria viridis</i>	98.6	9.9	9.0	6.7
		<i>Filipendula ulmaria</i>	19.5	38.5	8.9	24.7
	Plantaginaceae	<i>Plantago major</i>	97.5	26.5	3.6	11.1
	Monocotyle doneae	Gramineae	<i>Bromopsis inermis</i>	28.4	40.1	2.2
<i>Scolochloa festucacea</i>			13.0	14.6	3.0	50.0
Liliaceae		<i>Polygonatum odoratum</i>	25.7	35.4	5.4	9.3
Licopodiophyta	Lycopodiaceae	<i>Lycopodium clavatum</i>	42.7	8.7	3.8	44.7
Equisetophyta	Equisetaceae	<i>Equisetum sylvaticum</i>	74.8	18.7	5.7	43.9
Polypodiophyta	Polypodiaceae	<i>Dryopteris filix-mas</i>	33.6	21.7	12.0	4.2
		<i>Pteridium aquilinum</i>	53.5	130.4	4.4	61.4

Примечание. Здесь и в табл. 5, 6: М – среднее значение, CV – коэффициенты вариации.

мирование. Удельная активность большого числа видов травянистых растений, принадлежащих к разным классам и семействам, приведена в табл. 4. Видно, что максимальное содержание ⁹⁰Sr (90.5–98.6 Бк/кг) наблюдается у видов *Melandrium album*, *Plantago major*, *Fragaria viridis*, а минимальное (13.0–21.5 Бк/кг) – у *Rumex confertus*, *Scolochloa festucacea*, *Capsella bursa-pastoris*, *Filipendula ulmaria*. Максимальное содержание ¹³⁷Cs (9–12 Бк/кг) отмечено у *Pulmonaria mollissima*, *Fragaria viridis* и *Dryopteris filix-mas*, а минимальное (0.5–1.2 Бк/кг) –

у *Leonurus quinquelobatus* и *Melilotus albus*. Так как виды с близким содержанием радионуклидов принадлежат к разным семействам и классам, можно заключить, что накопительная способность травянистых растений формируется на уровне вида. Принадлежность к таким таксономическим единицам, как семейство и класс, менее значимо. В целом величина удельной активности ⁹⁰Sr в травянистых растениях из разных семейств и классов варьирует от 13.0 до 98.6 Бк/кг, ¹³⁷Cs – от 0.5 до 12 Бк/кг.

Таблица 5. Удельная активность радионуклидов в надземной массе травянистых растений семейства Asteraceae

Вид	⁹⁰ Sr		¹³⁷ Cs	
	М, Бк/кг	CV, %	М, Бк/кг	CV, %
Автоморфный луг				
<i>Bidens tripartita</i>	20.7	93.7	4.6	52.2
Гидроморфный луг				
<i>Achillea millefolium</i>	31.8	11.9	1.0	40.0
<i>Arctium tomentosum</i>	26.2	20.6	2.5	36.0
<i>Artemisia absinthium</i>	25.8	42.2	0.8	7.5
<i>Cicohorium inthybus</i>	36.7	28.1	3.3	15.2
<i>Cirsium heterophyllum</i>	24.9	50.2	1.0	30.0
<i>Matricaria recutita</i>	26.6	39.8	4.1	48.8
<i>Tanacetum vulgare</i>	48.7	4.9	1.4	14.3
<i>Taraxacum officinale</i>	68.7	44.7	4.4	63.6
<i>Tussilago farfara</i>	152.1	26.8	7.0	44.3

Вклад видовой изменчивости в формирование накопительной способности растений оценивали на примере семейства Asteraceae (табл. 5). Независимо от условий произрастания, средние значения удельной активности ⁹⁰Sr в надземной массе большинства видов этого семейства укладываются в диапазон 20.7–68.7 Бк/кг. Исключение составляет вид *Tussilago farfara*, характеризующийся максимальным содержанием ⁹⁰Sr (152.1 Бк/кг), достоверно отличающимся от такового в надземной массе других видов этого семейства ($t_{\text{эксп}} = 3.38$ –6.48, $t_{\text{теор}} = 2.306$ при $p = 0.05$). По накоплению ¹³⁷Cs можно выделить группу растений, удельная активность надземной массы которых составляет 4–7 Бк/кг; в нее входят представители как автоморфных (*Tussilago farfara*, *Matricaria recutita*, *Taraxacum officinale*), так и гидроморфных (*Bidens tripartite*) лугов. В остальных случаях она достоверно ниже ($t_{\text{эксп}} = 4.47$, $t_{\text{теор}} = 2.306$ при $p = 0.05$). Следует отметить широкий диапазон внутривидовой изменчивости накопительной способности (коэффициенты вариации 4.9–93.7%), обусловленный как индивидуальной изменчивостью растений, так и разнообразием экологических условий произрастания (физико-химические свойства почв, количество тепла и осадков в разные годы исследований). Высокая вариабельность удельной активности растений, обусловленная индивидуальной изменчивостью, отмечалась ранее (Караваева и др., 2010). Все изученные представители группы травянистых растений накапливают ⁹⁰Sr больше, чем ¹³⁷Cs. Возможно, преимущественное накопление ⁹⁰Sr обусловлено его большей подвижностью в системе почва–расте-

ние (Алексахин, Нарышкин, 1977; Караваева и др., 2010).

Известно, что масштаб колебаний удельной активности радионуклидов в биомассе мхов и лишайников в значительной степени зависит от экологических условий местообитания (Нифонтова, 1998). Поэтому в табл. 6 приведены данные, характеризующие удельную активность эпигейных мхов. Содержание радионуклидов в биомассе мхов, как и у травянистых растений, определяется морфофизиологическими особенностями вида. Так, содержание ⁹⁰Sr в биомассе мхов варьирует от 40 Бк/кг (*Mnium undulatum*) до 160 Бк/кг (*Dicranum spadiceum*), а ¹³⁷Cs – от 137 Бк/кг (*Bryum pseudotriquetrum*) до 550 Бк/кг (*Dicranum spadiceum*). Коэффициенты вариации удельной активности радионуклидов, в некоторых случаях, достигают 100%. Близки к мхам по уровню содержания радионуклидов и лишайники (Михайловская и др., 2012). В отличие от травянистых растений в лишайниках и мхах отмечается преимущественное накопление ¹³⁷Cs.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На обследованной территории Уральского региона фоновый уровень загрязнения почвы ⁹⁰Sr варьирует в пределах 0.2–3.5 кБк/м², ¹³⁷Cs – 1.0–7.6 кБк/м². Искусственные радионуклиды, формирующие современный фоновый уровень загрязнения, находятся в пределах верхнего корнеобитаемого слоя почв.

Содержание радионуклидов в растениях с течением времени снижается по экспоненциальному закону. Среднее содержание в надземной массе трех исследованных таксономических групп

Таблица 6. Содержание радионуклидов в эпигейных мхах, Бк/кг

Семейство	Вид	^{90}Sr		^{137}Cs	
		М, Бк/кг	CV, %	М, Бк/кг	CV, %
Polytrichaceae	<i>Polytrichum strictum</i>	83	35.0	293	56.0
	<i>P. commune</i>	77	12.9	292	24.0
	<i>P. juniperinum</i>	90	33.3	300	16.7
Ditrichaceae	<i>Ceratodon purpureus</i>	103	20.3	508	20.9
Dicranaceae	<i>Dicranum scoparium</i>	56	19.6	146	41.0
	<i>D. polysetum</i>	76	18.4	160	16.9
	<i>D. spadiceum</i>	160	44.4	550	16.0
Bryaceae	<i>Pohlia cruda</i>	80	23.7	335	44.8
	<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	67	19.4	137	25.3
Climaciaceae	<i>Climacium dendroides</i>	82	14.6	188	13.3
Amblystegiaceae	<i>Campylium chrysophyllum</i>	86	15.1	392	30.6
	<i>Calliergon cordifolium</i>	70	30.0	453	48.1
	<i>Sanionia uncinata</i>	78	8.9	319	6.6
Brachytheciaceae	<i>Brachythecium oedipodium</i>	80	25.0	180	16.7
	<i>B. reflexum</i>	80	25.0	220	15.9
	<i>B. velutinum</i>	80	23.7	345	23.2
	<i>B. starkei</i>	85	93.0	205	13.1
	<i>B. salebrosum</i>	89	14.6	218	27.5
Entodontaceae	<i>Pleurozium schreberi</i>	80	1.3	193	2.6
Hypnaceae	<i>Hypnum lindbergii</i>	70	50.0	260	103.8
	<i>Ptilium crista-castrensis</i>	77	28.6	158	45.6
Rhytidiaceae	<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	71	14.3	174	16.1
	<i>R. subpinnatum</i>	90	14.4	210	31.9
Hylocomiaceae	<i>Hylocomium splendens</i>	81	17.3	179	24.0
Thuidiaceae	<i>Anomodon viticulosus</i>	105	59.0	230	100.0
	<i>Thuidium philibertii</i>	70	27.1	185	23.8
	<i>T. abietinum</i>	60	28.3	157	10.8
	<i>Abietinella abietina</i>	63	19.0	150	11.3

^{90}Sr совпадает, а для ^{137}Cs оно значительно выше во мхах и лишайниках, чем в травянистых растениях. Показано, что травы накапливают преимущественно ^{90}Sr , а мхи и лишайники — ^{137}Cs . Внутри каждой таксономической группы накопление радионуклидов определяется видовыми особенностями растений. Максимальный диапазон изменчивости накопительной способности по отношению к ^{90}Sr (2.5–500 Бк/кг) отмечен у травянистых растений, а к ^{137}Cs (40–1200 Бк/кг) — у мхов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы УрО РАН ориентированных фунда-

ментальных исследований по проекту № 12-С-4-1001 и РФФИ (проект № 11-04-01260-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексахин Р.М., Нарышкин М.А. Миграция радионуклидов в лесных биоценозах. М.: Наука, 1977. 144 с.
- Атлас геоэкологических карт на территории зоны наблюдения ФГУП «ПО «Маяк». М.—Озерск: ЗАО «Гео-спецекология», 2007. С. 106.
- Дьяченко А.П., Таршиис Г.И., Нифонтова М.Г. Эколого-ботаническая характеристика района Белоярской атомной электростанции на Урале // Радиэкологические исследования в зоне АЭС. Свердловск, 1988. С. 117–121.

- Караваяева Е.Н., Михайловская Л.Н., Молчанова И.В., Позолотина В.Н.* Накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs растениями из почв, загрязненных в результате эксплуатации предприятий ядерно-энергетического комплекса // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2010. № 1 (12). С. 85–90.
- Михайловская Л.Н., Молчанова И.В., Нифонтова М.Г.* Радионуклиды глобальных выпадений в растениях лесных экосистем Уральского региона // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2012. № 2. С. 110–117.
- Нифонтова М.Г.* Содержание долгоживущих искусственных радионуклидов в мохово-лишайниковом покрове наземных экосистем Урало-Сибирского региона // Экология. 1998. № 3. С. 196–200. [*Nifontova M.G.* Concentrations of long-lived artificial radionuclides in the moss-lichen cover of terrestrial ecosystems in the Ural-Siberian region // *Rus. J. of Ecology*. 1998. V. 29. № 3. P. 167–171].
- Нифонтова М.Г., Куликов Н.В.* О накоплении стронция-90 и цезия-137 лишайниками в природных условиях // Экология. 1977. № 3. С. 93–96. [*Nifontova M.G., Kulikov N.V.* Accumulation of strontium-90 and cesium-137 by lichens under natural conditions // *Sov. J. of Ecology*. 1977. V. 8. № 3. P. 270–273].
- Позолотина В.Н., Молчанова И.В., Караваяева Е.Н.* и др. Современное состояние наземных экосистем зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа. Екатеринбург: Изд-во “Гошицкий”, 2008. 204 с.
- Трапезников А.В., Молчанова И.В., Караваяева Е.Н., Трапезникова В.Н.* Миграция радионуклидов в пресноводных и наземных экосистемах. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2007. Т. 1. 479 с.; Т. 2. 399 с.