

В. Л. АНАНЯН, Г. А. САРКИСЯН

О СОДЕРЖАНИИ ^{90}Sr и ^{137}Cs В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ
 ДИЛИЖАНСКОЙ ЛЕСНОЙ АГРОХИМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В результате испытаний ядерного оружия произошло глобальное загрязнение биосферы искусственными радионуклидами, из которых ^{90}Sr и ^{137}Cs долгоживущие, с периодом полураспада соответственно 28 и 33 года. В связи с этим представляется важным осуществление мониторинга за поведением их в системе *атмосферные осадки—почва—растение*.

Исследования проводились на территории ДИЛАС. Для сравнения брались также образцы растений и почв из других лесных массивов.

Территория ДИЛАС покрыта смешанным лесом с преобладанием дуба, бука, граба. На полянах развилась разнотравно-бобово-злаковая растительность [1].

Изучение радиоактивности лесной коричневой почвы Дилижанской лесной агрохимической станции (ДИЛАС) проводилось с 1962 г. Описание почвы приводится в настоящем сборнике [2]. Образцы почв брались послонно на послелесных полянах и под пологом леса. Определяли общий ^{137}Cs гамма-спектральным методом, общий и обменный ^{90}Sr соответственно в 6 н HCl и 1 н $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ вытяжках—радиохимическим методом по иттрию—90.

В табл. 1 приведены данные о содержании общего ^{90}Sr в лесной коричневой почве из двух пунктов. В Техуте наблюдается большее

Таблица 1

Содержание и распределение общего ^{90}Sr в лесной коричневой почве

Пункт	Год	Слой, см	^{90}Sr , икюри		% от суммы по слоям
			кг	м ²	
Техут	1962	0—5	0,78	32,4	37,9
	1965	0—5	1,47	61,0	
		0—10	0,68	28,2	
		10—20	0,19	15,8	
		20—40	0,34	56,4	
			161,4	89,2	
Дилижан	1972	0—5	0,99	58,4	60,8
		5—10	0,30	17,1	18,4
		10—20	0,09	10,2	10,9
		20—30	0,05	5,7	6,1
		30—40	0,03	3,4	3,7
		70—80	не обнаружено	—	—
			92,8		

проникновение ^{90}Sr вглубь. В поверхностном (0—10 см) слое почвы в ДИЛАС задержалось 79% от общего содержания радиостронция в слое 0—80 см.

Данные табл. 2 о содержании общего ^{137}Cs показали, что в обоих пунктах наблюдается тенденция к увеличению его с годами, что объясняется следующим: передвижение ^{137}Cs вглубь почвы очень замедленное—он на 87—98% закрепляется в поверхностном слое (0—5 см); вынос растениями составляет сотые или тысячные доли процента от содержания радиоцезия в почве [3]; поступление с осадками больше, чем вынос растениями и радиоактивный распад.

В лабораторных условиях, с применением радиоактивной метки, было проведено изучение сорбции и десорбции ^{90}Sr и ^{137}Cs в некоторых почвах Армении, в том числе и лесной коричневой почве из ДИЛАС.

Содержание ^{137}Cs в лесной коричневой почве

Таблица 2

Пункт	Год	Слой, см	^{137}Cs , икюри		% от суммы по слоям
			кг	м ²	
Техут	1964	0—5	0,8	47,6	100
		5—10	не обнаружено		
ДИЛАС	1970	0—5	2,6	148,2	98,0
		5—10	0,05	3,0	2,0
		10—20	не обнаружено		
		0—5	4,60	262,2	91
	1973	5—10	0,26	14,8	5
		10—20	0,08	9,1	3
		0—5	4,84	275,9	87
		5—10	0,29	16,5	5
		10—20	0,22	25,1	8
				286,1	
				317,5	

Как видно из табл. 3, доступная форма ^{90}Sr (водорастворимая и обменная) составила 67% от сорбированного количества изотопа, а радиоцезия—17%. Надо отметить, что по сравнению с другими почвами Армении доля обменного ^{137}Cs в лесной коричневой почве несколько повышенная. В образце почвы, взятом в Цахкадзоре в 1973 г., содержание обменного радиостронция при глобальном уровне загрязнения равнялось 70% от общего содержания. Как видим, данные почти совпадают.

Данные табл. 4 показали, что уровень содержания обменного стронция в поверхностном слое 0—5 см за эти годы снизился почти наполовину, главным образом за счет передвижения его вглубь почвы. Вынос растениями и распад составляют небольшую долю от этого ко-

Сорбция и десорбция ^{90}Sr и ^{137}Cs в лесной коричневой почве

Таблица 3

Изотоп	Сорбция, % к внесенному	Десорбция, % от сорбированного			Прочно фиксированная фракция, % к сорбированному
		H ₂ O	IN CH ₃ COONH ₄	6н HCl	
^{90}Sr	92,3	2,2	64,9	26,9	6,1
^{137}Cs	99,2	нет	16,8	13,3	72,0

личества. Вымывание из поверхностного (0—5 см) слоя компенсировалось накоплением в нижележащих слоях, поэтому содержание обменного ^{90}Sr в слое 0—10 см за эти годы сохранилось на одном уровне (0,64—0,61 нкюри). В 1976 г. содержание обменного ^{90}Sr в 0—20 см слое было выше, чем в 1970 г.

Таблица 4

Содержание обменного ^{90}Sr в лесной коричневой почве ДИЛАС

Год	Слой, см	^{90}Sr , нкюри				% от суммы
		кг	среднее (0—10 см)	м ²	сумма	
1970	0—5	1,16	0,64	66,1	82,6	80
	5—10	0,13		7,4		9
	10—20	0,08		9,1		
1973	0—5	1,10	0,64	62,7	74,7	84
	5—10	0,21		12,0		16
	0—10	0,61		69,6		115,2
1976	10—20	0,40		45,6		40

Содержание ^{137}Cs в почвах выше, чем радиостронция. Отношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ (обменный) составляет 3,9—4,4 и с глубиной снижается.

Изучение радиоактивности лесной растительности производили периодически с 1967 по 1974 гг. Образцы травянистой растительности брали с 3 или 4 метровок, которые после учета урожая смешивались. Образцы мхов брали, главным образом, со стволов деревьев.

Данные табл. 5 показали, что содержание ^{90}Sr в травянистой растительности послелесных полей за исследуемый период колебалось в пределах 0,095—0,345 нкюри/100 г. Колебания эти небольшие, если считать, что на различных участках ДИЛАС, площадь которой составляет около 7 га, содержание радиостронция в траве в 1974 г. различалось в 2 раза—от 0,112 до 0,240 нкюри/100 г. Это объясняется тем, что территория ДИЛАС имеет расчлененный характер, где относительно ровные террасы сменяются крутыми склонами, в результате чего распределение радионуклидов на поверхности заметно различается. Исходя из этого, можно считать, что за 7 лет содержание ^{90}Sr в траве сохранилось почти на одном уровне. Это является результатом того, что основная часть ^{90}Sr в почвах находится в доступной форме и активно поглощается растениями. Кроме того, как показывают наши исследования, с атмосферными осадками продолжает поступать некоторое количество радионуклидов.

Содержание радиостронция в клевере сеяном и листовом опаде такое же, как и в траве. В подстилке содержание ^{90}Sr в 1971 и 1973 гг. сохранилось на одном уровне. Содержание его в подстилке в 3—4 раза выше, чем в траве, и ниже, чем в 0—5 см слое почвы на поляне.

Содержание ^{137}Cs в траве очень незначительное—почти на два порядка ниже, чем ^{90}Sr . Отношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ в траве равно 0,01—0,02, это указывает на то, что количество радиоцезия, поглощаемое растениями из почвы, ничтожно.

Данные табл. 6 показывают распределение нуклидов в надземной и подземной частях травянистых растений. На поляне были взяты монолиты, площадью 50×50 см, глубиной 0—10 см. Надземная часть растений скашивалась, корни отмывались от почвы, высушивались и взвешивались. Распределение ^{90}Sr и Са в растениях имеет сходство: в корнях их в 3—5 раз больше, чем в надземной части. Распределение же радиоцезия и калия резко отличается.

Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в растительных образцах и подстилке из лесной зоны (воздушно-сухой вес)

Таблица 5

Пункт	Год	Растительный образец	Калий, икюри/100 г	икюри/100 г		с. е.*	д. е.**	$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$
				^{90}Sr	^{137}Cs			
ДИЛАС	1967	Мох	—	1,78	—	—	—	—
		Трава	—	0,34	—	—	—	—
	1970	Трава	1,83	0,23	—	130	—	—
		Мох	0,29	1,08	—	800	—	—
	1971	Мох	0,29	0,74	—	310	—	—
		Лишайник	0,20	0,88	—	265	—	—
		Подстилка	0,13	0,50	—	206	—	—
	1972	Мох	0,28	0,44	0,82	358	2204	1,85
		Трава	1,69	0,11	0,001	147	0,45	0,01
		Клевер сеяный	1,39	0,11	—	85	—	—
	1973	Листовой опад	—	0,10	0,003	206	—	0,30
		Мох	—	0,84	—	—	—	—
		Трава	1,40	0,11	—	112	—	—
	1974	Подстилка	0,31	0,50	0,007	185	16	0,01
		Трава	—	0,24	0,004	210	—	0,016
	Цапка-дзор	1973	Мох	0,17	1,69	3,19	955	1387
Трава			0,61	0,17	—	159	—	—
Анкаван	1973	Мох	0,19	1,37	2,19	972	8442	1,60
		Трава	0,91	0,09	0,002	177	165	0,02
Фиолетово	1973	Мох	0,25	1,34	2,57	1252	7573	1,92

Таблица 6

Распределение нуклидов в надземной и подземной частях травянистых растений на поляне (ДИЛАС)

№ обр.	Часть растений	икюри/100 г		К, % икюри/100 г	Са, %	Отношение надземная часть / подземная часть			
		^{90}Sr	^{137}Cs			^{90}Sr	Са	^{137}Cs	К
1	Надземная	0,097	0,0013	2,21	0,85	0,3	0,5	0,06	5,7
	Корни	0,294	0,0160	1,66	1,70				
				0,39					
2	Надземная	1,122	0,0010	1,37	1,14	0,5	0,5	0,02	—
	Корни	0,240	0,0434	1,09	2,10				
				—					

Поступление ^{137}Cs в растения в природных условиях происходит преимущественно внекорневым, аэральным путем—корневое же поглощение незначительно. Как видим, в условиях почвенного поглоще-

* Стронциевые единицы.

** Цезиевые единицы.

ния содержание его в корнях в 20—60 раз выше, чем в надземной массе. Калий же, в силу физиологических особенностей, накапливается главным образом в зеленых, растущих частях растений.

Таблица 7

Относительные показатели накопления радионуклидов травянистыми растениями (сено) на послелесных полянах (ДИЛАС)

Год	Коэффициент накопления (К. Н.)		Наблюдаемые отношения (Н. О.) ⁹⁰ Sr—Ca
	Ca	⁹⁰ Sr	
1970	3,0	4,0	1,4
1973	—	—	1,1
1974	1,6	3,6	2,2
1974	1,7	2,2	1,3

Приведенные в табл. 7 данные показывают, что коэффициенты накопления (К. Н.) радиостронция выше, чем Ca, т. к. поступление ⁹⁰Sr в растения по отношению к содержанию его в почве происходит более энергично, чем то же для Ca. Величина наблюдаемых отношений (Н. О.) выше единицы, что указывает на ту же тенденцию предпочтительного поглощения радиостронция по отношению к кальцию.

Известно [4, 5], что лишайники и мхи отличаются способностью к накоплению радионуклидов в количествах, во много раз превышающих содержание их в среде. Эффект аккумуляирования радионуклидов лишайниками и мхами достигается главным образом за счет большой сорбционной поверхности на единицу массы. Исследования показали (цитировано по [5]), что у высших растений, например у злаковых, поверхность составляет: при диаметре стеблей в 1 мм—40 см²/г, для листьев—до 200 см². У ветвистых лишайников поверхность достигает до 4000 см²/г, т. е. в 20—100 раз больше, чем у злаковых. Очевидно то же должно наблюдаться и в отношении мхов. При воздушном типе питания, характерном для лишайников и мхов, они почти целиком адсорбируют вещества, находящиеся в атмосферных выпадениях.

Особое значение это имеет на севере, где лишайники являются основным кормом для оленей. В результате этого складывается неблагоприятная для человека миграция ¹³⁷Cs по пищевой цепочке: лишайники—олень (мясо)—человек [5]. В средней и южной зоне лишайники и мхи почти не участвуют в пищевой цепочке человека. Но они играют определенную роль в миграции веществ, в частности радиоактивных изотопов, в биосфере.

Периодическое изучение содержания ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, Ca и K в мхах (и лишайниках) из лесных массивов Армении показали (табл. 3), что в Дилижанском лесу в 1967, 1972 и 1973 гг. концентрация радиостронция в мхах была в 4—7 раз больше, чем в траве. В других пунктах разница составила 10—14 раз.

Очень резкое различие наблюдается в отношении ¹³⁷Cs—содержание его в мхах было в 815 и 1097 раз больше, чем в траве. Отношение ¹³⁷Cs/⁹⁰Sr в травах за эти годы составляло 0,01, а для мхов—1,6—1,9, т. е. проявилась селективность в накоплении радиоцезия мхами. Моисеев и Рамзаев [5] также наблюдали это явление у лишайников на севере.

Эти данные позволяют рассматривать мхи в качестве специфических накопителей радиоцезия. Надо отметить, что мхи (и один обра-

зещ лишайника) собирались в основном со стволов деревьев. Это значит, что нуклиды поглощались мхами непосредственно из атмосферных осадков и стекающей по стволам воды. В связи с этим интересно проследить зависимость накопления радионуклидов от содержания их в атмосферных отложениях. С этой целью были рассчитаны условные коэффициенты накопления (УКН) в следующей размерности:

$$\text{УКН} = \frac{{}^{90}\text{Sr}/{}^{137}\text{Cs} (\cdot 10^{-10} \text{ кюри}/100\text{г растений (мхи, травы)}}{{}^{90}\text{Sr}/{}^{137}\text{Cs} (\cdot 10^{-10} \text{ кюри}/\text{м}^2 \text{ в атмосферных отложениях)}}$$

Таблица 8
Показатели условного коэффициента накопления (УКН)

Растения	У К Н	
	${}^{90}\text{Sr}$	${}^{137}\text{Cs}$
Травы	0.13—0.20	0.001—0.004
Мхи	0.52—1.60	0.7

Приведенные в табл. 8 данные также указывают на специфичность мхов в накоплении радионуклидов.

Выводы

1. Содержание обменного ${}^{90}\text{Sr}$ и ${}^{137}\text{Cs}$ в лесной коричневой почве составляет соответственно 70 и 16% от общего их содержания.
2. Содержание обменного ${}^{90}\text{Sr}$ в слое почвы 0—10 см в период 1967 по 1976 гг. сохранялось почти на одном уровне. Наблюдается тенденция к некоторому увеличению содержания ${}^{137}\text{Cs}$ в почве (в слое 0—20 см).
3. Содержание ${}^{90}\text{Sr}$ в траве за исследуемый период почти не менялось. Проявляется предпочтительность в поглощении ${}^{90}\text{Sr}$ растениями по отношению к Са.
4. Содержание ${}^{137}\text{Cs}$ в траве почти на два порядка ниже, чем ${}^{90}\text{Sr}$.
5. Мхи в отличие от травянистых растений адсорбируют значительные количества радионуклидов, проявляя при этом селективность по отношению к радиоцезию.

Վ. Լ. ԱՆՆՅԱՆ, Գ. Ա. ՍԱԳՅԱՆ

ԳԻՒԶԱՆԻ ԱՆՏԱՌԱՅԻՆ ԱԳՐՈՔԻՄԻԱԿԱՆ ԿԱՅԱՆԻ ՀՈՂԵՐԻ ԵՎ ԲՈՒՅՍԵՐԻ ՄԵԶ ${}^{90}\text{Sr}$ -Ի ԵՎ ${}^{137}\text{Cs}$ -Ի ՊԱՐՈՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ն փ ու մ

Անտառային դարչնագույն հողերի 0—5 սմ մակերեսային շերտում փոխանակային ${}^{90}\text{Sr}$ -ի պարունակությունը 1970—1976 թթ. իջել է համարյա կիսով չափ: Էվացումը մակերեսային շերտից զեպի խորքը կոմպենսացվում է ուղիղսարոնցիումի կուտակմամբ, որի հետևանքով 0—10 սմ շերտում փոխանակային ${}^{90}\text{Sr}$ -ի պարունակությունը այդ տարիների ընթացքում պահպանվել է միևնույն մակերևույթի վրա: Ընդհանուր ${}^{137}\text{Cs}$ -ի պարունակությունը ${}^{90}\text{Sr}$ -ի համեմատությամբ ավելի բարձր է:

${}^{90}\text{Sr}$ -ի պարունակությունը խոտարույսերում 1967—1974 թթ. ընթացքում գրեթե չի փոխվել: Խոտարույսերում ${}^{137}\text{Cs}$ -ի պարունակությունը մոտ երկու կարգով ցածր է:

Մամուլները, ի տարբերություն խոտաբույսերի, կուտակում են մեծ քանակությամբ ռադիոնուկլիդներ՝ հանդես բերելով ընտրողականորեն ^{137}Cs -ի նկատմամբ:

V. L. ANANYAN, G. A. SARKISYAN

Summary

ON THE CONTENTS OF ^{90}Sr AND ^{137}Cs IN THE SOILS AND PLANTS OF THE DILIJAN FOREST AGROCHEMICAL STATION

The contents of the exchangeable ^{90}Sr and ^{137}Cs in the forest brown soils constitutes correspondingly 70% and 16% of their overall amount. The contents of the exchangeable ^{90}Sr in the layer of soil of 0—10 cm in depth, from 1967—1976, has almost not changed. ^{137}Cs tends to increase its contents in the soil in 0—20 cm in depth. The contents of ^{90}Sr in the grass has almost not changed. The plants prefer to absorb ^{90}Sr than Ca. The grass contains twice as less of ^{137}Cs , than of ^{90}Sr . The mosses, in contrast to grass, prefer adsorbing mostly ^{137}Cs .

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Л. Ананян, Г. А. Саркисян. Накопления радиостронция, кальция и калия некоторыми видами и группами травянистой растительности Армении. Биол. журн. Армении, т. XXIX, № 11, 1976.
2. Г. Б. Бабаян. Почвы и природные условия Дилижанской лесной агрохимической станции. В настоящем сборнике.
3. В. Л. Ананян, Г. Б. Мнацаканян, Г. А. Саркисян. О поступлении ^{137}Cs в луговые растения и сеяные травы. Биол. журн. Армении, т. XXIX, № 2, 1976.
4. Ю. А. Поляков. Радиоэкология и дезактивация почв. Атомиздат, М., 1970.
5. А. А. Моисеев, П. В. Рамзаев. Цезий-137 в биосфере. Атомиздат, М., 1975.