

В. Л. АНАНЯН, Б. Г. МНАЦАКАНЯН

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ КАЛИЯ И ЦЕЗИЯ-137 В РАСТЕНИЯХ (СЕНЕ) АЛЬПИЙСКИХ И СУБАЛЬПИЙСКИХ ЛУГОВ АРМЕНИИ

С 1962 г. исследования по миграции и распределению радиоактивных веществ в системе почва-растения сосредоточены нами на лугах альпийской и субальпийской зон Армении, используемых в качестве пастбищ и сенокосов.

Сильно задерненный, богатый органическими веществами поверхностный корнеобитаемый слой почвы (0—5 см) является как бы фильтром, задерживающим поступающие с атмосферными осадками радиоактивные продукты деления. Исследования [1, 2, 3] показали, что до 80 и более процентов от общего количества выпавшего цезия-137, накапливается в этом слое и служит постоянным источником загрязнения растений.

Наиболее эффективным способом повышения продуктивности сенокосов и пастбищ является применение удобрений.

Многочисленными исследованиями [4—9] установлено, что удобрения оказывают определенное воздействие на поведение микроэлементов радиоактивных веществ в почве и поступление их в растения.

Задачей наших исследований являлось изучение влияния удобрения и известкования на продуктивность лугов и накопление цезия-137 в растениях.

В данной работе мы приводим результаты исследований, проведенных за период 1963—1967 гг. на альпийских и субальпийских лугах Арагаца и Гегамского хребта.

Почва альпийского луга горно-луговая, коричневая, богата органическими веществами (до 21%), общим азотом (до 1%), фосфором (0,4—0,5%); калия содержится 1,4—1,6%. Почвы сильноокислые — pH водной суспензии 4,4. Растительность низкорослая, образует альпийские ковры. Опыты ставились на территории Арагацкого альпийского опорного пункта Института агрохимических проблем и гидропоники Академии наук Армянской ССР.

Субальпийские луга Арагаца и Гегамского хребта используются в качестве сенокосов. Растительность разнотравно-бобово-злаковая. Почвы горно-луговые, с большим содержанием гумуса (до 16%). Содержание фосфора колеблется от 0,4 до 0,6, калия до 1,1—1,4%. Реакция почв слабокислая — pH 5,5—6,0.

Методика и результаты опытов

Методика гамма-спектрального определения цезия-137 в растительных образцах на установке АИ-100-1 описана в работе [9]. В связи с тем, что концентрация Cs-137 в растениях субальпийской зоны сравнительно низка, навеска измеряемого образца была увеличена до 250 г. Увеличено также время измерения. Наибольшее отклонение от среднего не превышало 10—12%. Калий определялся пламенно-фотометрическим методом. Пересчет на радиоактивность производился исходя из того, что 1 мг природного калия имеет активность, равную $0,75 \cdot 10^{-12}$ кюри. В тех случаях, когда количество исследуемых образцов (опыты в альпийской зоне) было недостаточным для определения цезия-137, измеряли β -радиоактивность.

Альпийская зона. Опыт А-1, 1 (I), 1962 г. Заложен 26.VI, убрал 29.VIII.

Размер делянки 1,44 м², учетной — 1 м². Повторность четырехкратная. Удобрения в форме аммиачной селитры, суперфосфата и хлористого калия вносились поверхностно из расчета 200 кг действующего начала на 1 га, известь 6 т/га.

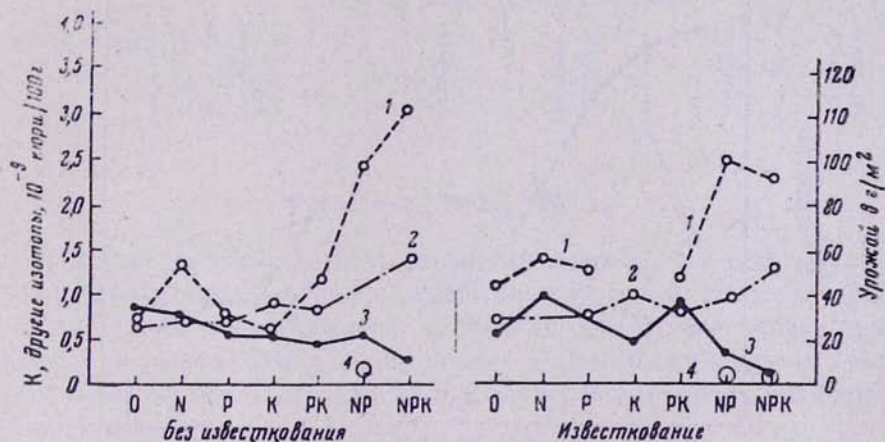


Рис. 1. Опыт А-1, 1962 г. Влияние удобрений и известкования на урожай (1); уровень радиоактивности, вызванной калием (2) и другими изотопами (3); содержание цезия-137 (4)

Приведенные на рис. 1 данные* показывают, что с увеличением урожая под действием удобрений уменьшается содержание «других изотопов» на единицу веса. Наиболее значительное уменьшение радиоактивности отмечается в варианте NPK, где получен самый высокий урожай. Содержание же калия, наоборот, в варианте NPK увеличивается.

На известковом фоне характер действия удобрений в основном сохраняется тот же, только в варианте N и PK содержание «других изо-

* Приведены результаты повторного измерения β -радиоактивности (XII.1965 г.) спустя три года после взятия образцов, когда значительная часть короткоживущих изотопов распалась.

топов» увеличивается по сравнению с контролем. В этом опыте проявилось положительное действие известкования в отношении снижения уровня радиоактивности.

Опыт А-2 (5-1), 1964 г. Заложен 19.IX 1963 г., убрал 19.VIII 1964 г.

Размер делянки 1,56 м², учетной—1 м². Повторность четырехкратная. Удобрения (N, P, K) вносились поверхностно, из расчета 100 кг действующего начала на 1 га, известь 3 т/га.

Данные (табл. 1, рис. 2) показали, что содержание калия повышалось в растениях, получивших калийное удобрение. Самое высокое его содержание отмечалось в вариантах NPK. Содержание Cs-137 связано в основном с величиной урожая. Наиболее значительное снижение его содержания наблюдается в вариантах NP и NPK, где получены наивысшие прибавки урожая.

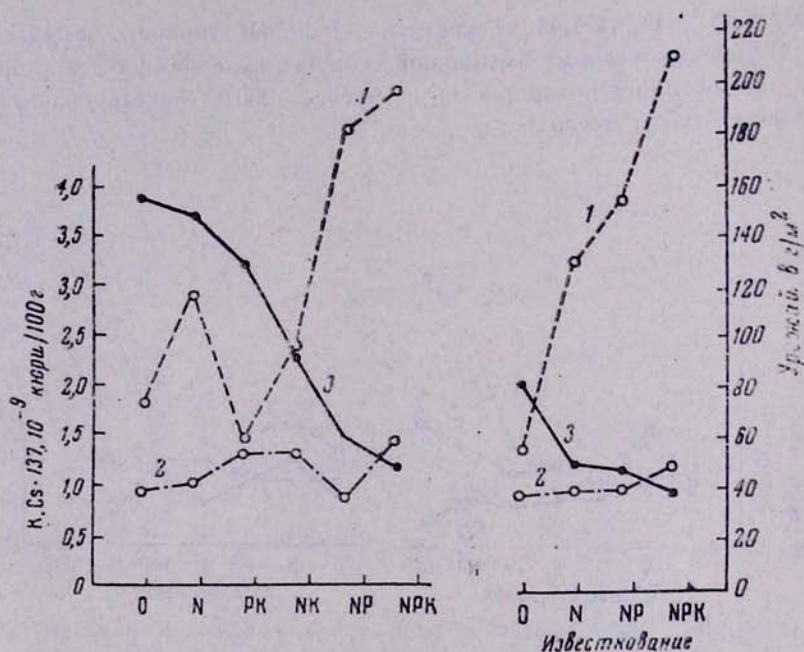


Рис. 2. Опыт А-2, 1964 г. Влияние удобрений и известкования на урожай (1), накопление калия (2) и цезия-137 (3).

Дискриминационная роль калия проявилась в варианте РК, где урожай не увеличился, а содержание цезия-137 несколько уменьшилось. Действие калия проявилось также в варианте НК (по сравнению с N). На известковом фоне характер действия удобрений на урожайность, содержание калия и Cs-137 сохранился тот же.

Четких данных по влиянию известкования на урожай не получено, однако довольно отчетливо определилось его влияние на поступление Cs-137 в растения.

Влияние удобрений на урожай, содержание калия и цезия-137 в растениях альпийского луга

Серия опыта	Варианты опыта	Урожай, г/м ²	10 ⁻⁹ кюри/100 г воздушно-сухой массы		Цезий-137, % от контроля	Цезий-137 калий
			калий	цезий-137		
Опыт А-2 (5—1), 1964 г.						
Без известкования	О	172,6±11,8	0,94	3,94	100	4,2
	N	16,3±9,2	1,01	3,72	95	3,6
	PK	57,3±8,4	1,32	3,22	82	2,4
	NK	94,5±14,4	1,32	2,24	57	1,7
	NP	180,0±42,7	0,86	1,45	37	1,6
	NPK	196,2±17,1	1,42	1,17	30	0,82
Известкование	О	56,7±15,0	0,95	2,07	100	2,2
	N	129,5±11,4	1,03	1,28	62	1,2
	NP	155,5±30,2	1,01	1,19	57	1,1
	NPK	212,7±26,0	1,23	1,01	49	0,82

Опыт А-3 (5—2), 1965 г. (последствие)

Известкование	О	52,3	1,46	4,00	100	2,7
	N	68,0	1,45	2,25	56	1,5
	NP	99,0	1,52	0,37	9	0,2
	NPK	81,0	1,61	0,39	10	0,2

Опыт А-3 (5—2), 1965 г.

Учитывалось последствие удобрений в опыте А-2 (табл. 1). Травостой изреженный, растения низкорослые. Характер действия удобрений на урожайность, поступление калия и цезия-137 сохранились те же. Отмечается резкое снижение содержания цезия-137 в удобренных вариантах, особенно NP и NPK. Отношение цезия-137 к калию в этих вариантах снизилось более, чем в 10 раз.

Опыт 3*, 1962—1965 гг.

В этих опытах (табл. 2) наблюдается та же закономерность. Содержание калия в растении увеличивается при внесении калийного удобрения.

Содержание цезия-137 связано, в основном, с величиной урожая. Положительное действие калия было значительным в опыте 1962 г. В последующие годы роль калия уменьшилась. Отношение цезия-137 к калию в вариантах NPK снизилось более чем в 10 раз по сравнению с контролем.

* Образцы для анализов предоставлены Г. Б. Бабаяном.

Влияние удобрений на содержание калия, цезия-137 и других изотопов в растениях альпийского луга

Опыт 3

Годы	Варианты опыта	10 ⁻⁹ кюри/100 г воздушно-сухой массы			Другие изотопы, Cs, % от контроля	Цезий-137 калий
		другие изотопы	калий	цезий-137		
1962	O	2,95	0,65	—	100	—
	N	1,95	0,60	—	66	—
	P	2,97	0,58	—	100	—
	NP	1,83	0,65	—	62	—
	NPK	0,20	1,48	—	7	—
1963	O	2,21	1,43	—	100	—
	N	2,35	1,45	—	106	—
	P	2,58	1,45	—	116	—
	NP	2,09	1,39	—	94	—
	NPK	1,68	1,96	—	76	—
1964	O	—	0,83	2,41	100	3,0
	N	—	0,75	1,44	60	1,9
	P	—	0,78	2,04	85	2,6
	NP	—	0,66	0,51	21	0,7
	NPK	—	1,63	0,35	15	0,2
1965	O	—	1,37	3,22	100	2,3
	N	—	1,31	1,20	37	0,9
	P	—	1,52	1,43	44	0,9
	NP	—	1,34	0,99	31	0,7
	NPK	—	2,12	0,46	14	0,2

Опыт А-4, 1967 г. Заложен 23.VII, убран 29.VIII 1967 г.

Делянка 1,44 м², учетная — 1 м². Повторений — 8. Урожай убирали с повторений I, III, V, VII. Остальные повторения оставлены для учета последствий удобрений в следующем году. Удобрения (N, P, K) вносились поверхностно из расчета 100 кг действующего начала каждого. СаСО₃—6 т/га.

Данные табл. 3 показали, что содержание калия в растениях повысилось в тех вариантах, где было внесено калийное удобрение. Наивысшее содержание Cs-137 наблюдалось в растениях (сене), собранных с контрольных делянок.

В варианте с одним азотным удобрением содержание Cs-137 в растениях снизилось до 34% (по сравнению с контролем), в варианте NP до — 21%, а в варианте, где в сочетании с другими удобрениями внесен K (NK, NPK), отмечается особенно резкое снижение удельного содержания Cs-137 — на 89 и 96%.

Отношение цезий-137/калий также резко снизилось. В этом опыте, помимо зависимости между величиной урожая и содержанием Cs-137, особенно четко проявилось антагонистическое действие калия.

Влияние удобрений и известкования на урожай, содержание калия и цезия-137 в растениях альпийского луга

Варианты опыта	Урожай, г/м ²	10 ⁻⁹ кюри/100 г возд.-сухой массы		Цезий-137, % от контроля	Цезий-137 калий
		калий	цезий-137		
Опыт А-4, 1967					
О	49,5±5,3	1,16	0,61	100	0,5
N	65,3±10,0	1,05	0,21	34	0,2
NK	121,2±10,7	2,05	0,07	11	0,03
NP	164,7±13,0	1,30	0,13	21	0,10
NPK	182,2±14,0	1,84	0,04	6	0,02
NPK+CaCO ₃	151,7±6,7	1,89	0,03	5	0,01
Опыт А-5, 1967					
О	59,0±12,4	1,01	0,41	100	0,4
NPK ₁	147,0±11,5	1,73	0,06	15	0,03
NPK ₂	161,0±11,0	1,76	0,07	17	0,04

Опыт А-5, 1967 г.

В 1962 г. здесь были внесены разные дозы извести. По этому фону в 1967 г. (23.VII) был заложен небольшой опыт с вариантами: контроль, NPK. Дозы удобрений и величина учетной делянки такие же, как и в опыте А-4. Уборка опыта произведена 29.VIII 1967 г.

Как показывают данные (табл. 3), спустя 4 года действие известкования не проявилось. Удобрения (NPK) значительно повысили урожайность трав (сена), при этом содержание калия несколько увеличилось, а цезия-137 резко уменьшилось (15—17% от контроля).

В субальпийской зоне Гегамского хребта на высоте 2360 м над ур. м. на сенокосном участке в течение ряда лет проводились мелкоделяночные полевые опыты по удобрению.

Размер делянок 1,56 м², учетной — 1 м², повторений — 6. Серии опыта с известкованием и без известкования чередовались в шахматном порядке.

Удобрения (N, P, K) вносились поверхностно из расчета 100 кг действующего начала на 1 га, известь — 3 т/га.

Опыт Э-1, 1963 г. Заложен 23.V, убран 15.VII 1963 г.

Результаты опыта (табл. 4, рис. 3) показали положительное действие удобрений. По эффективности варианты (в серии без известкования) располагаются в следующем порядке: NPK>NP>NK>N>О, а по известковому фону ряд нарушается: NP>NPK>NK>N>О. Наибольшая прибавка (NPK без известкования) составила 51%.

Содержание калия мало изменилось по вариантам, только от NP, NPK наблюдается некоторое повышение. В контроле, на фоне известкования, содержание калия пониженное.

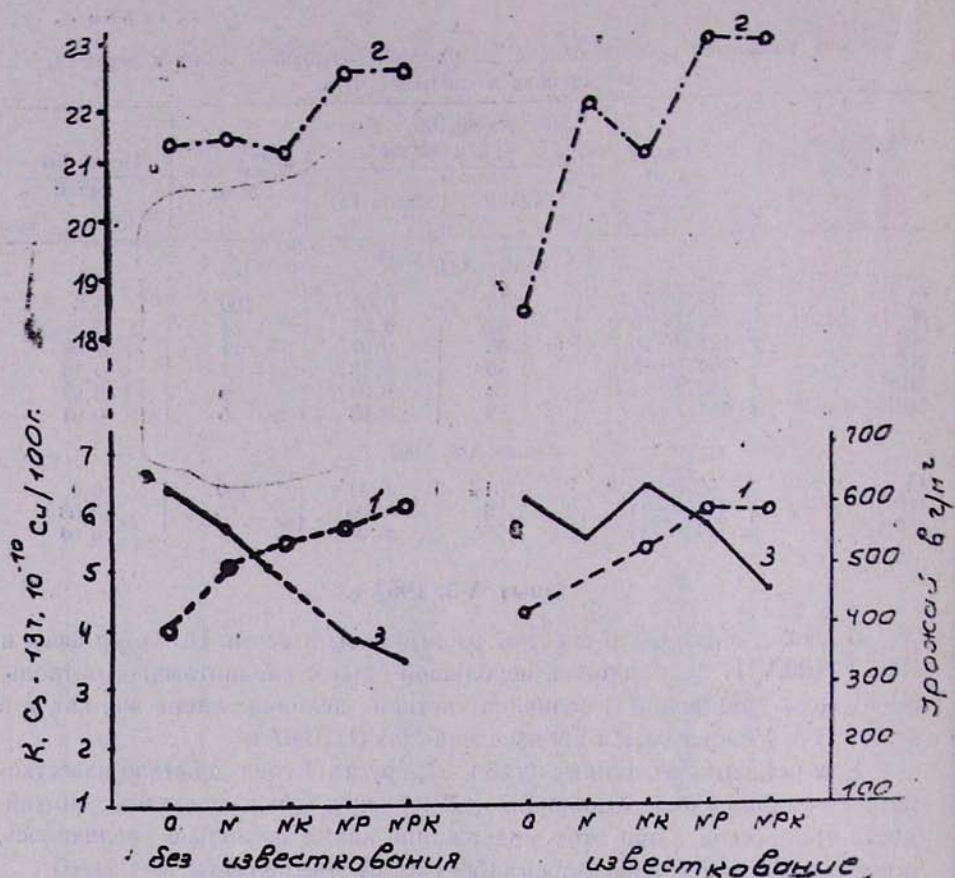


Рис. 3. Опыт Э-1, 1963 г. Влияние удобрений и известкования на урожай (1), накопления калия (2), цезия-137 (3)

Содержание цезия-137 (в серии без известкования) уменьшается в удобренных вариантах. Отмечается зависимость между величиной урожая и удельным содержанием цезия-137 (рис. 3). С увеличением урожая уменьшается содержание цезия-137. На фоне известкования действие удобрений проявилось слабее. В вариантах NP и NPK (известкование) содержание цезия-137 повысилось по сравнению с теми же вариантами без известкования. Наименьшее отношение цезий-137/калий наблюдалось в вариантах NP и NPK (без известкования) 0,17—0,15.

Таким образом, данные опыта показывают положительное действие удобрений NP, NPK. Известкование оказало отрицательное действие, увеличив содержание цезия-137 в растениях.

Опыт Э-2, 1964 г. Убран 1.VII 1964

В 1964 г. изучалось последствие удобрений (табл. 4). Уровень урожайности в контрольных вариантах был ниже, чем в 1963 г., очевидно, это связано с более засушливым летом. Последствие удобрений на

Влияние удобрений и известкования на урожай, содержание калия и цезия-137 в растениях субальпийского луга

Опыт, время	Серия опыта	Варианты	Урожай, г/м ²	10 ⁻¹⁰ кюри/100 г воздушно-сухой массы		Цезий-137 ⁹⁰		Цезий-137 калий
				калий	цезий	от контро-ля	при изве-стковании, от соответ. вариантов	
Оп. Э-1, 1963 Внесение удобрений	Без известкования	О	403±27	21,3	6,44	100	100	0,30
		N	515±48	21,4	5,75	89	100	0,27
		NK	551±29	21,4	—	—	—	—
		NP	573±48	22,5	3,91	61	100	0,17
		NPK	608±43	22,5	3,45	54	100	0,15
	Известкование	О	425±24	18,3	6,21	100	96	0,34
		N	(610)*	21,9	5,52	89	96	0,24
		NK	533±35	20,9	6,44	103	—	0,31
		NP	591±20	22,9	5,73	92	146	0,25
		NPK	588±23	22,8	4,60	74	135	0,20
Оп. Э-2, 1964 Последствие удобрений	Без известкования	О	292±13	20,1	2,42	100	100	0,12
		N	321±20	19,4	2,25	91	100	0,12
		NK	327±17	19,2	1,76	75	100	0,09
		NP	407±32	21,1	2,41	100	100	0,11
		NPK	401±26	21,9	1,24	50	100	0,05
	Известкование	О	392±42	18,8	3,43	100	141	0,18
		N	350±15	18,8	2,36	68	104	0,12
		NK	329±26	(22,1)	2,59	76	150	0,12
		NP	412±37	20,9	2,42	70	100	0,11
		NPK	378±30	18,8	2,77	82	233	0,15

* В скобках — данные, принятые условно. Сделаны выключения.

урожай проявилось слабо. По эффективности варианты в серии без известкования располагаются в том же порядке. По известковому фону урожай в контроле был выше, чем без известкования.

Содержание калия в растениях несколько повышенное в варианте NPK, при известковании во всех вариантах, за исключением NK, пониженное.

Уровень содержания цезия-137 в образцах растений был в 2—3 раза ниже, чем в 1963 г. Четкой зависимости между величиной урожая и содержанием цезия не наблюдалось. Наименьшее содержание цезия-137 отмечается в варианте NPK (50%). При известковании наблюдается некоторое повышение содержания цезия-137. Отношение цезий-137/калий значительно уменьшилось по сравнению с 1963 г.

Таким образом, опыт по изучению последствий показывает, что в варианте NPK проявляется положительное действие — повышается урожай и уменьшается удельное содержание цезия-137. Известкование оказало отрицательное действие.

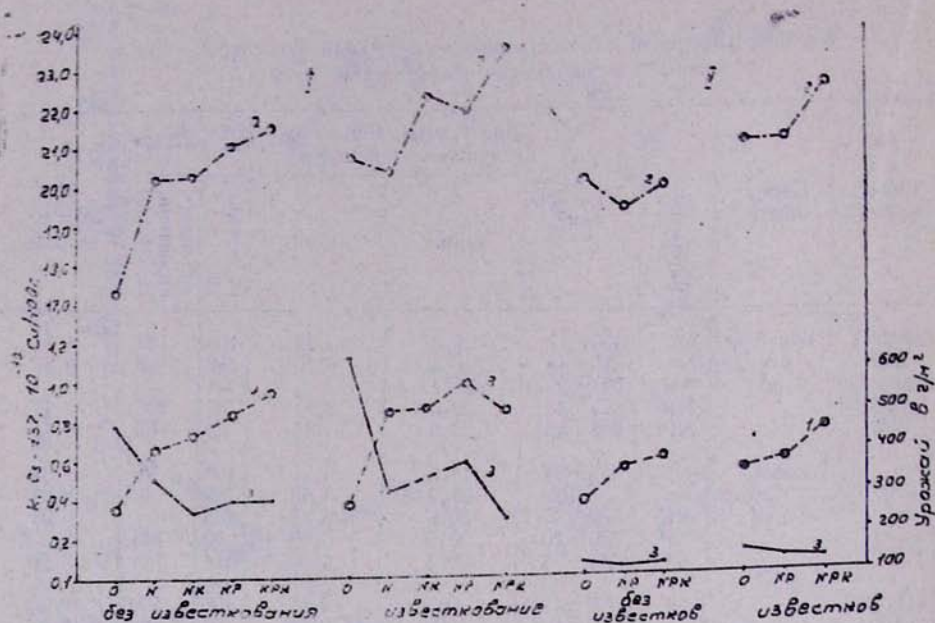


Рис. 4. Опыт Э-3, 1965 г. (1) и Э-4, 1966 (2). Действие (I) и последствие (II) удобрений на урожай (1), накопление калия (2) и цезия-137 (3)

Опыт Э-3, 1965 г. Удобрения внесены 26.V, опыт убрал 6.VII 1965 г.

В 1965 г. опыт был повторен. В те же делянки, в тех же дозах были внесены удобрения и известь.

Результаты опыта (табл. 5, рис. 4) показали значительную эффективность удобрений. По эффективности варианты располагаются в тот же ряд: $NPK > NP > NK > N > O$.

Наибольшая прибавка урожая составила 104%. На известковом фоне, как и в прежних опытах, ряд нарушается — наибольшая прибавка урожая получена от NP (111%).

Содержание калия мало изменяется как по годам, так и по вариантам. Отмечается некоторое повышение содержания калия в вариантах, где внесен калий. Это явление наблюдается и на фоне известкования.

Уровень содержания цезия-137 в растениях продолжает спускаться, в 1965 г. он примерно в 2—3 раза ниже, чем в предыдущем году. В этом опыте также проявляется положительное влияние удобрений. Отношение цезия к калию снизилось соответственно снижению его уровня в растениях. Наблюдается, с некоторыми отклонениями, зависимость между величиной урожая и удельным содержанием цезия-137 в растениях.

Влияние же известкования на урожайность почти не проявилось. Однако отмечается увеличение содержания цезия-137 в растениях как контрольных, так и удобренных (NP) делянок. В этом опыте, в варианте $NPK + \text{известкование}$, содержание цезия-137 снижается.

В опыте 1966 г. учитывается последствие удобрений. Учет урожая и анализы произведены в вариантах О, NP, NPK (табл. 5, рис. 4). Последствие удобрений проявилось слабо. Прибавки урожая составили от NP — 20%, а NPK — 40%. На фоне известкования прибавка получена только от NPK (25%).

Таблица 5

Влияние удобрений и известкования на урожай, содержание калия и цезия-137 в растениях субальпийского луга

Опыт, время	Серия опыта	Варианты	Урожай, г/м ²	10 ⁻¹⁰ кюри/100 г воздушно-сухой массы		Цезий-137, %		Цезий-137 каллий
				калий	цезий-137	от контроля	при известковании от соотношения вариантов	
Опыт Э-3, 1965 Повторное внесение удобрений	Без известкования	О	274±23	17,3	0,79	100	100	0,044
		N	430±18	20,2	0,50	63	100	0,035
		NK	463±38	20,2	0,33	42	—	0,016
		NP	513±35	21,0	0,39	49	100	0,018
		NPK	560±52	21,4	0,39	49	100	0,018
	Известкование	О	280±34	20,6	1,13	100	140	0,054
		N	515±31	20,2	0,43	38	86	0,021
		NK	522±23	22,1	—	—	—	—
		NP	591±36	21,7	0,58	51	148	0,026
		NPK	513±34	23,3	0,24	21	61	0,010
Опыт Э-4, 1966	Без известкования	О	279±14	19,9	0,052	100	100	0,003
		NP	366±25	19,1	0,034	65	100	0,002
		NPK	389±29	19,7	0,047	90	100	0,002
Последствие удобрений	Известкование	О	356±12	20,7	0,100	100	192	0,005
		NP	358±19	20,7	0,070	70	205	0,003
		NPK	447±18	22,0	0,063	63	134	0,003
Опыт Э-5, 1967, 2-й год последствия	Без известкования	О	521	—	0,039	100	—	—
		NPK	530	—	0,037	94	—	—

Содержание калия несколько повышается при внесении калийного удобрения. Это явление довольно четко проявляется на известковом фоне.

Уровень содержания цезия-137 продолжает снижаться. В образцах 1966 г. фактическое содержание цезия имеет порядок $n \cdot 10^{-12}$ кюри/100 г.

В опыте отмечается снижение удельного содержания цезия-137 от NP на 35%, в NPK на 10% по сравнению с контролем. На фоне известкования, во всех вариантах, наблюдается значительное повышение удельного содержания цезия-137. Отношение цезий-137/калий снижается соответственно уменьшению уровня цезия-137 в растениях.

В 1967 г. учитывали второй год последствий удобрений. Учет урожая и анализы произведены только в контрольных делянках и НРК. Данные показали отсутствие действия удобрений на урожай трав. Содержание цезия-137 было одинаковым в обоих вариантах.

В субальпийской зоне Арагаца опыты были заложены в двух пунктах:

Опыт Ам, 1963 г.

В 1963 г., на высоте 2880 м над ур. м. на сенокосном лугу был заложен небольшой опыт, где испытывалось полное минеральное удобрение (НРК) на фоне известкования и без него. Размер делянок 1,56 м², повторений 7. Дозы удобрений те же. Опыт заложен 15.V, убран 10.VII 1963 г.

Почва горно-луговая, с содержанием гумуса до 15%, фосфатов и калия 0,47—1,14% соответственно, pH — 4,5 (4).

Таблица 6

Влияние удобрений и известкования на урожай и содержание цезия-137 в растениях субальпийского луга

Опыт, время	Серия опыта	Варианты	Урожай, г/м ²	10 ⁻¹⁰ кюри/100 г воздушно-сухой массы		Цезий-137, %		Цезий-137 калий
				калий	цезий	от контроля	при известковании от соотношения вариантов	
Опыт К-1, 1965	Без известкования	O	460±24	20,8	0,57	100	100	0,027
		NP	860±16	21,3	0,32	57	100	0,015
		NP+KCl	766±17	23,0	0,26	45	100	0,011
		NP+K ₂ SO ₄	745±10	22,6	0,54	95	100	0,024
		NP+KNO ₃	745±28	22,2	0,57	100	100	0,025
	Известкование	O	422±16	21,2	0,67	100	117	0,032
		NP	816±38	20,8	0,60	89	187	0,028
		NP+KCl	705±10	22,8	0,74	110	284	0,032
		NP+K ₂ SO ₄	765±38	23,7	0,67	100	124	0,028
		NP+KNO ₃	710±39	23,6	0,76	113	133	0,032
Опыт К-2, 1967		O	605±22	17,5	0,080	100	—	0,0046
		N	733±36	17,8	0,041	51	—	0,0023
		NP	1000±63	19,1	0,050	62	—	0,0026
		НРК	1113±93	20,6	0,059	74	100	0,0029
		НРК+CaCO ₃	1120±57	18,7	0,084	105	142	0,0058
		НРК+Sr	1103±64	20,3	0,076	95	128	0,0037
		НРК+BMnMoZn	955±80	22,5	0,084	105	142	0,0037

Результаты опытов показали прибавку урожая трав от НРК до 40%. На фоне известкования эффективность НРК была ниже (29%). Содержание калия в растениях несколько снизилось от известкования. Удельное содержание цезия-137 от НРК уменьшилось по сравнению с контролем. Известкование на фоне НРК увеличило содержание цезия-137 на

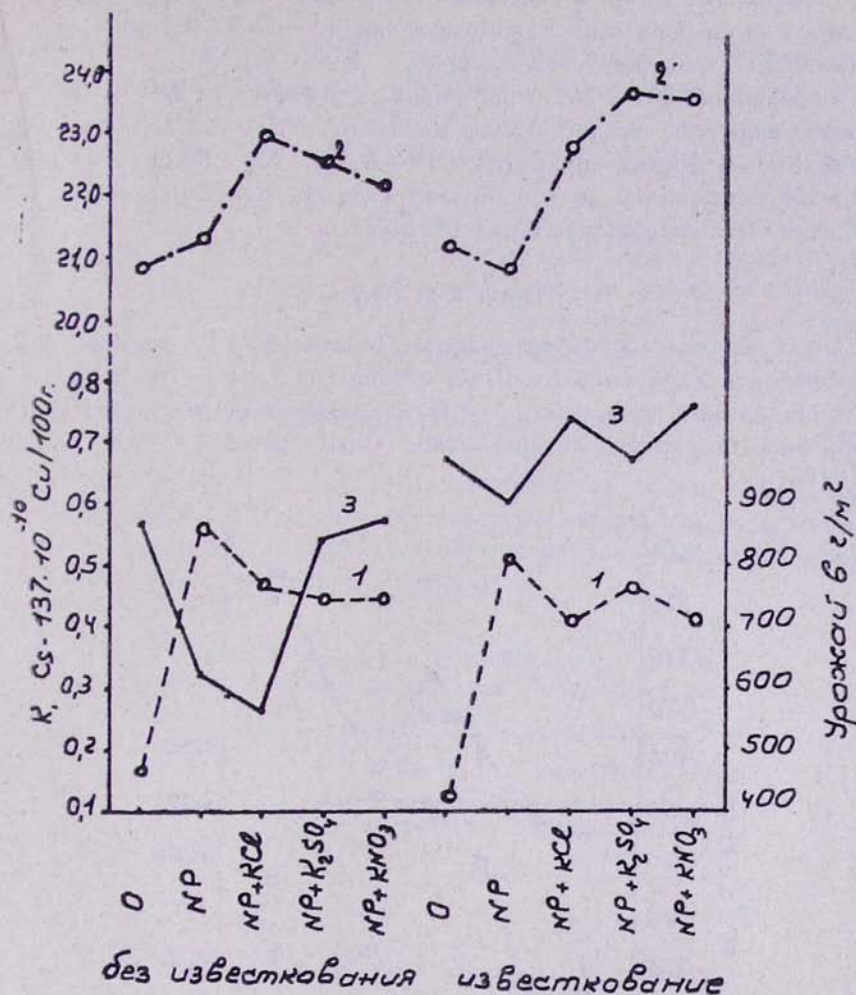


Рис. 5. Опыт К-1, 1965 г. Действие удобрений и известкования на урожай (1), накопление калия (2) и цезия-137 (3)

40% по сравнению с вариантом NPK без известкования. Низкое отношение цезий-137/калий наблюдается в NPK.

Опыт К-1, 1965 г.

В 1965 г. на сенокосных лугах был заложен опыт по изучению форм калийных удобрений на фоне NР. Испытывались KCl, K₂SO₄, KNO₃. Площадь делянок 2,82 м², учетных — 2 м². Повторений 4. Удобрения внесены поверхностно из расчета 100 кг/га действующего начала, известь — 3 т/га. Опыт заложен I.VI, убрал — 26.VII 1965 г.

Результаты опыта (табл. 6, рис. 5) показали, что сочетание азотного и фосфорного удобрений повысило урожайность сена на 87%. На фоне известкования отмечается небольшое снижение урожая.

Содержание калия в растениях несколько выше в вариантах, где вносился калий, при этом наибольшее накопление калия получено при внесении KCl, а на фоне известкования — K_2SO_4 и KNO_3 .

Содержание цезия-137 в растениях снижается от NP на 43%, еще большее снижение наблюдается в варианте NPK, где калий внесен в форме KCl. В других вариантах ($NP+K_2SO_4$, $NP+KNO_3$) содержание цезия-137 повышается до уровня контроля. На фоне известкования во всех вариантах содержание цезия-137 повышается.

Опыт К-2, 1967 г.

Опыт заложен на том же участке. Делянки $2,82 \text{ м}^2$, учетная — 2 м^2 . Повторений 4. Удобрения (N, P, K) вносили из расчета 100 кг действующего начала на 1 га, известь — 3 т/га, микроэлементы в дозе 4 кг/га. Удобрения вносились поверхностно. Опыт заложен 23.V, уборка — 8.VII 1967 г.

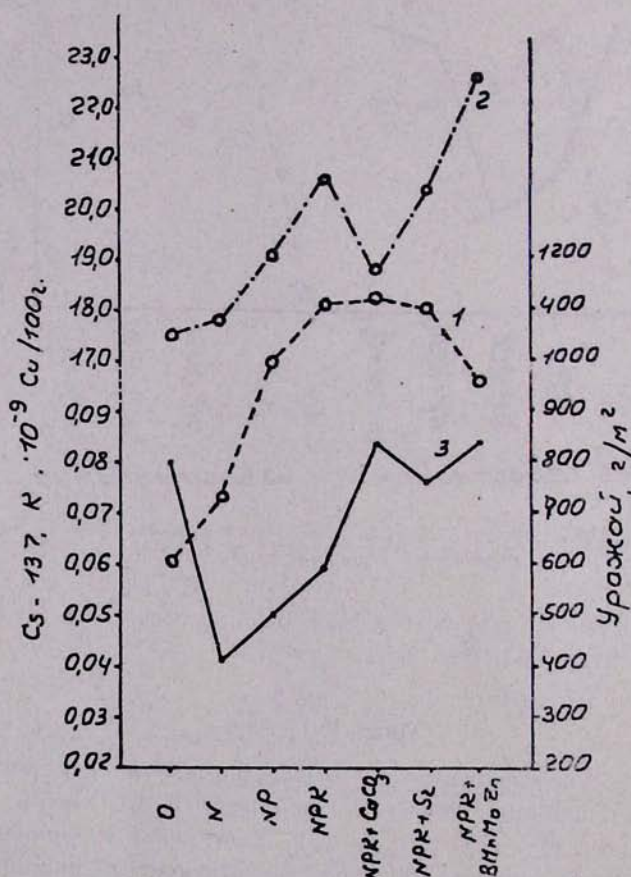


Рис. 6. Опыт К-2, 1967. Действие удобрений на урожай (1), накопление калия (2) и цезия-137 (3)

Результаты опыта (табл. 6, рис. 6) показали, что азотное удобрение повысило урожайность трав на 20%. NP и NPK дало прибавку 65 —

68% по сравнению с контролем. Внесение извести, Sr и микроэлементов (на фоне NPK) почти не оказало влияния на величину урожая.

Содержание калия в растениях, получивших калийное удобрение, несколько повышенное. Исключение составляет вариант с известкованием (NPK+изв.).

При внесении N, NP и NPK произошло снижение уровня цезия-137 на 59, 50 и 41% соответственно. Внесение извести, стабильного стронция и микроэлементов (на фоне NPK) увеличило поступление цезия-137 на 28—42% по сравнению с NPK. Отношение цезий-137/калий снизилось соответственно снижению уровня цезия-137 в растениях.

Обсуждение результатов

В табл. 7 приведены данные о содержании калия, показывающие, что содержание его в растениях (сене) субальпийской зоны значительно выше, чем в альпийской. Отмечаются различия по годам, очевидно связанные с климатическими условиями.

Таблица 7
Содержания калия в растениях (сене) альпийских и субальпийских лугов (контрольные варианты)

Годы	Калий, 10^{-9} кюри/100 г	
	альпийский луг	субальпийский луг
1962	0,65	—
1963	1,43	2,13
1964	0,94; 0,83	2,01
1965	1,46; 1,37	1,73; 2,08
1966	—	1,99
1997	1,16; 1,01	1,75

В опытах при внесении калийного удобрения, как правило, содержание калия в растениях увеличивается. Наибольшее количество его отмечается в растениях, собранных с вариантов, где калий вносился на фоне NP (NPK). Особенно четко это явление наблюдается в опытах на альпийском лугу — увеличение содержания калия составляет 137—227% от контроля.

В опытах на субальпийских лугах это увеличение колеблется в пределах 105,6—123,6% от контроля. Очевидно, что при обеспечении азотом и фосфором растения, испытывая потребность в калии, поглощают его в больших количествах.

Наблюдения над опытами на альпийских лугах показали также, что при внесении NPK по сравнению с контрольными вариантами несколько затягивалось развитие растений, что также могло явиться причиной повышенного содержания калия. Зависимости между содержанием калия и величиной урожая не наблюдается.

Влияние известкования на накопление калия растениями противоречиво — в одних случаях содержание калия повышается, в других — снижается.

Поведение цезия-137 существенно отличается от поведения калия. Надо отметить, что с 1963 по 1967 г. произошло значительное снижение уровня загрязнения растений цезием-137. Так, в субальпийской зоне (рис. 7) в 1963 г. содержание цезия-137 находилось в пределах порядка $\text{п} \cdot 10^{-10}$ кюри/100 г возд.-сухой массы, в 1965 — $\text{п} \cdot 10^{-11}$ кюри, а в 1966 и 1967 гг. — $\text{п} \cdot 10^{-12}$ кюри. В альпийской зоне с 1964 по 1967 гг. содержание цезия-137 снизилось почти на порядок.

Такое резкое снижение объясняется прежде всего уменьшением содержания цезия-137 в атмосферных осадках. Ряд авторов [1, 10] указывает на преобладание поступления цезия-137 через листья во время вы-

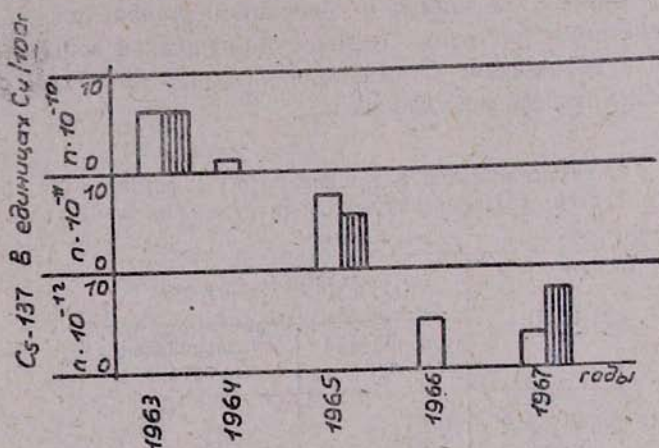


Рис. 7. Уровни содержания Cs-137 в растениях контрольных вариантов (возд.-сухой вес) субальпийской зоны по годам в трех пунктах

падения осадков, так как цезий-137 отличается наиболее ярко выраженной способностью к передвижению в другие части растений при внескорневого его поступления.

Приведенные данные показывают, что с годами доля внескорневого поступления цезия-137 в растения снижается, накопление же через корни незначительное. Ludwig [11] отмечал, что только 0,02% цезия-137 поступило в клубни картофеля при внесении 2 мккюри. Вынос цезия-137 на легкой дерново-подзолистой почве, по данным Гулякина и Юдинцевой [12], не превышает 0,13, а на черноземе составляет только 0,05%. По данным Ширшовой [7], на разных типах почв вынос цезия колеблется в пределах 0,08—0,52% от его содержания в почвах.

Если мы условно примем, что внескорневое поступление цезия-137 в растения (с осадками) отсутствует, то при самом грубом подсчете, вынос его урожаем трав в альпийской и субальпийской зонах с 1 м² соста-

вит от 1 до 4%. В действительности эта величина значительно меньше, так как внескорневое поступление цезия-137 с осадками продолжается.

Результаты исследований, проведенных в альпийской зоне, показывают на прямую связь между его содержанием в растении (сене) и величиной урожайности. Чем выше урожай, тем ниже содержание его на единицу веса растений, т. е. происходит «разбавление» цезия-137 в большой массе растений. Наибольшие прибавки урожая получены в вариантах NP (148—334%) и NPK (170—370%). Содержание цезия-137 в этих вариантах колеблется от 10 до 50% от контроля, а в опыте А-4 1967 г. в варианте NPK снизилось до 6%.

Как показывают данные, дискриминационное действие калийного удобрения проявляется слабо, за исключением опыта А-4, 1967 г., где оно довольно значительно (табл. 3).

Положительное действие известкования на уменьшение поступления цезия-137 в растения проявляется слабо.

В литературе [1, 4, 7] указывается, что азотное удобрение увеличивает поступление цезия-137 в растения. В условиях альпийского луга, где в первом минимуме находится азот, внесение азотного удобрения повышает урожай сена, при этом происходит снижение цезия-137 от 95 до 34% по сравнению с контролем.

В условиях субальпийской зоны внесение NP, NPK также увеличивает урожай трав, однако прибавки здесь меньше (50—110%). В этих же вариантах наблюдается снижение удельного содержания цезия-137 в растениях на 26—51%. При последствии удобрений прибавок урожая или нет, или они низки. Снижение удельного содержания цезия-137 в этом случае проявляется слабо и нечетко. Характер действия удобрений, внесенных по известковому фону, сохранялся тот же, однако имелись отклонения.

Таким образом, полученные данные позволяют предположить, что в условиях субальпийских лугов непосредственное влияние азотных, фосфорных и калийных удобрений на механизм поступления микроколичеств цезия-137 в растения почти не проявляется. Их воздействие скорее косвенное в увеличении урожая трав. При этом происходит «разбавление» цезия-137 в большой массе растений. Это касается, очевидно, не только той части цезия-137, который поступает с осадками внескорневым путем, но и части Cs-137, поглощаемого корнями из почвы.

При внесении известки без удобрений (вариант контроль + известь) наблюдается повышение удельного содержания цезия-137 в растениях.

Почвы субальпийских лугов, как отмечалось выше, имеют слабокислую реакцию. О повышении поглощения растениями цезия-137 при известковании дерново-подзолистой супесчанной почвы упоминает также Ширшова [7].

Известно, что микроколичества цезия-137 в почвах обладают крайне малой подвижностью [2]. По способности десорбироваться водой и 0,1% растворами солей Тимофеев-Ресовский и другие [13] относят цезий

к первой группе элементов, которые десорбируются Na, Ca и Al меньше чем на 5%. Наиболее важным фактором миграции цезия, по тем же данным, является изменение собственной концентрации. В макроконцентрациях тип поведения цезия-137 обменный, в микроконцентрациях — обменный.

Наши исследования показали, что в естественных условиях на горно-луговых почвах в слое 0—5 см концентрировалось до 98% общего количества цезия-137. Несмотря на то, что количество цезия-137 находится в пределах «микроконцентраций», здесь, в условиях слабокислых почв субальпийского луга, при внесении извести (Ca), очевидно, создаются условия для частичной десорбции цезия-137. Растения получают дополнительную порцию доступного цезия-137.

Интересно отметить, что калий [13] считается более энергичным «специфическим» вытеснителем цезия. Однако в наших опытах проявился антагонизм калия по отношению к цезию-137, особенно в альпийской зоне, выразившийся в предпочтении поглощения калия растениями.

Величина отношения цезий-137/калий, так называемая цезиевая единица, в основном, зависит от содержания цезия-137 в растениях, так как содержание калия в них колеблется в сравнительно малых пределах.

Исследования в этом направлении продолжаются, и к рассмотренным вопросам мы еще неоднократно вернемся.

В ы в о д ы

1. Содержание калия в растениях альпийской и субальпийской зон по годам (1962—1967) колеблется в небольших пределах.

2. Внесение калийных удобрений способствует увеличению поглощения калия растениями. Наибольшее содержание калия отмечается в растениях, взятых с вариантов NPK. Зависимости между содержанием калия и величиной урожая не наблюдается.

3. Накопление цезия-137 в растениях (сене) находится в прямой зависимости от величины урожая: чем выше урожай, тем ниже содержание Cs-137 на единицу веса. В вариантах NP и NPK, где получены наибольшие прибавки урожаев, отмечено самое низкое содержание Cs-137. Действие удобрений, в основном, косвенное и сводится к увеличению урожая, при котором происходит «разбавление» цезия-137.

4. Антагонистическое действие калия проявляется слабо, главным образом в опытах в альпийской зоне.

5. Известкование не оказало никакого влияния на урожай трав. В опытах на субальпийских лугах известкование повысило удельное содержание цезия-137 в растениях.

6. С 1963 по 1967 гг. произошло снижение содержания цезия-137 в растениях, очевидно за счет уменьшения внекорневого поступления цезия-137 с осадками.

ԿԱԼԻՈՒՄԻ ԵՎ ՑԵԶԻՈՒՄ-137-Ի ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՑԻԱՆ
ԵՎ ԵՆԹԱԼԻՊԻԱԿԱՆ ԲՈՒՅՍՆԵՐԻ ՄԵՋ ՊԱՐԱՐՏԱՆՅՈՒԹՅՈՒՆ
ԱՉԳԵՑՈՒԹՅԱՆ ՏԱԿ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Աշխատանքում բերված են 1962—1967 թթ. Արագածի և Գեղամա լեռն-աշխարհի ալպյան և ենթալպյան գոտիների խոտհարքների վրա կատարված հետազոտությունների արդյունքները: Դաշտային փոքրամարդ փորձերում ուսումնասիրվել է պարարտանյութերի (N, P, K) և կրացման (CaCO_3) ազդեցությունը բերքատվության, բույսերում (խոտի) կալիումի և ցեզիում 137-ի (Cs-137) կուտակման և հարաբերության վրա:

Cs-137 -ի կուտակումը բույսերի մեջ դաժնվում է հակառակ կապակցվածության մեջ բերքատվության հետ: NP և NPK տարբերակներում, որոնցում ստացվել է բերքի բարձր հավելում, Cs-137 -ի պարունակությունը իջնում է:

Կալիումի կուտակման և բերքատվության միջև կախվածություն չի նկատվում: Կալիումի անտազոնիկը արտահայտվում է թույլ, այն էլ ալպիական գոտում:

Կրացումը (առանց պարարտացման) տվել է դրական ազդեցություն ալպիական գոտում, իսկ ենթալպիական գոտում մեծացրել է Cs-137 -ի կլանումը բույսերի կողմից:

V. L. ANANYAN, B. G. MNATSAKANYAN

ON THE UPTAKE OF K AND Cs-137 BY ALPINE AND SUB ALPINE PLANTS AS INFLUENCED BY FERTILIZERS

S u m m a r y

The results of the investigations carried out on the meadows of Mt. Aragadz and Gegham mountain ridge zone have been discussed. In the experiments of small-size field beds we have investigated the effect of fertilizers (N, P, K) and liming (CaCO_3) on the yield and the accumulation and relation of Potassium and Cs-137 in the plants (hay).

The accumulation of Cs-137 in plants is contradicting in relation with their yield. In the NP and NPK varieties, of which a high yield has been obtained, the content of Cs-137 diminishes. Interdependence between the accumulation of Potassium and yield to plants is not observed. The antagonism of Potassium is weak, especially in the alpine zone.

Liming of soils (without fertilization) shows a positive effect in the alpine zone, while in the sub-alpine one the uptake of Cs-137 by plants increases.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Клечковский, И. В. Гулякин, Поведение в почвах и растениях микроколичеств стронция, цезия, рубидия и циркония. «Почвоведение», № 3, 1958.
2. А. А. Титлянова, О поведении цезия и рубидия в почвах. «Почвоведение», № 3, 1962.
3. В. Л. Ананян, Б. Г. Мнацаканян, О миграции радиоцезия в различных типах почв Армении. Рукопись, 1968.
4. И. В. Гулякин, Е. В. Юдинцева, Радиоактивные продукты деления в почве и в растениях, 1962. М.
5. H. Nishita, A. J. Steen, K. H. Larson, Release of Sr-90 and Cs-137 from vernal loam upon prolonged cropping. Soil Science., V. 86, № 4, 1958.
6. H. Nishita, E. M. Romney, G. V. Alexander, K. H. Larson, Influence of K and Cs on release of Cs-137 from three soils. Soil Science, V. 89, № 3, 1960.
7. Р. А. Ширшова, Поступление Sr-90, Cs-137 в растения в зависимости от почвенных условий. Автореферат канд. диссертации, М., 1964.
8. В. Л. Ананян, Влияние удобрений на урожай и уровень радиоактивности растений альпийского луга. «Агрохимия», № 3, 1966.
9. В. Л. Ананян, Б. Г. Мнацаканян, Влияние удобрений на поступление калия и цезия-137 в растения альпийского луга. «Агрохимия», № 3, 1967.
10. Ю. В. Сивинцев, Уточнение пути поступления Cs-137 в биосферу. Атомная энергия, вып. 1, 1962.
11. F. L. Ludwig, Die Aufnahme von Cäsium durch Kartoffelblätter. L. Pflanzenernähr durch Bodenkunde, B. 99, № 2—3, 1962.
12. И. В. Гулякин, Е. В. Юдинцева, Радиоактивные изотопы почв и их доступность растениям. Сб. «Радиоактивность почв и методы ее определения», М., 1966.
13. Н. В. Тимофеев-Ресовский, А. А. Титлянова, Н. А. Тимофеева, Г. И. Манохина, И. В. Молчанова, М. Я. Чеботкина, Поведение радиоактивных изотопов в системе почва-раствор. Сб. «Радиоактивность почв и методы ее определения», М., 1966.