

Калдыбаев Б.К.

**СОДЕРЖАНИЕ СТРОНЦИЯ-90 И ЦЕЗИЯ-137 В ОТДЕЛЬНЫХ ВИДАХ
КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ИССЫККУЛЬЯ**

В.К. Kaldybaev

**CONCENTRATION OF STRONTIUM-90 AND CAESIUM-137 ARE IN DIFFERENT KIND
OF CULTIVATED PLANTS OF NEAR ISSYK-KUL**

УДК: 539. 16.04

В работе исследовано содержание искусственных радионуклидов (стронция-90 и цезия-137) в культурных растениях При Иссык-Кульях. Установлено, что их удельная активность в исследованных видах растений находится в пределах установленных норм радиационной безопасности.

Present work has researched concentration of experimental radionuclide (strontium-90 and caesium-137) in the cultivated plants of near Issyk-Kul. It established that their specific activity in the researched kinds of plants was found within the limits of established norm of safety radiation.

В общей проблеме загрязнения окружающей среды радиоактивными продуктами деления представляет интерес изучения путей поступления радионуклидов в растения, особенно з сельскохозяйственные. Знание этих путей необходимо для прогнозирования возможного накопления стронция-90 и цезия-137 з пищевых цепях, а также в организме человека.

Ранее проведенные многолетние исследования Иссык-Кульской областной проектно-изыскательской станцией химизации сельского хозяйства за период 1980-1990 гг., а также более поздние исследования (Калдыбаев, Женбаев 2008, 2009) показали, что удельная активность искусственных радионуклидов (стронция-90, цезия- 137) в почвах региона в несколько раз ниже установленных норм радиационной безопасности к находится в пределах фоновых значений. Вероятно, их природа связана с процессами глобальных выпадений. С учетом этого нами были продолжены исследования по определению данных радионуклидов в растительном покрове региона.

Материалы и методы исследований

Материалом для исследований послужили надземные части культурных растений выращенные в условиях при Иссык-Кульях. Отбор проб растений был осуществлен с 15 контрольных участков. Пробы растений высушивались, далее измельчались ножницами и размалывались на машинке по размолу растительных образцов. Далее они сжигались в муфельной печи в специальных коробках при температуре 400°С. После сжигания стронций-90 радиохимически выделялся оксалатным методом, а цезий-137 сурьмяно-ийодным по соответствующим методикам. Обсчет конечного осадка осуществлялся на малофоновой установке УМФ-2000. Цезий - 137 был определен методом гамма-спектрометрии, а элементный анализ методом рентгенофлуо-ресцентного анализа.

Результаты и их обсуждение

Согласно данным сектора по развитию сельского хозяйства Иссык-Кульской гос. обл. администрации общая площадь пахотных земель в Прииссыккулье составляет 184000 га. К основным возделываемым культурным растениям относятся многолетние травы - 60-70 тыс. га., зерновые - 80-90 тыс.га., картофель - 4-5 тыс. га., фруктовые сады - 4 тыс. га. Полученные результаты, характеризующие содержание стронция - 90 и цезия -137 в культурных растениях выращенных в различных зонах Прииссыккулья представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание стронция-90 и цезия-137 в культурных растениях при Иссык-Кульях

Район	Вид растений	Части растений	⁹⁰ Sr Бк/кг	¹³⁷ Cs Бк/кг	¹³⁷ Cs/ ⁹⁰ Sr
1. Жеты-Огузский район	Озимая пшеница	Зерно	0,25	0,22	0,88
		Солома	2,45	2,05	0,83
	Яровой ячмень	Зерно	0,22	0,20	0,91
		Солома	3,49	3,08	0,88
	Кукуруза	Початки	1,31	1,29	0,98
	Эспарцет	Целое	4,73	4,43	0,93
Люцерна	Целое	5,76	5,56	0,96	
2. Тонский район	Яровой ячмень	Зерно	0,27	0,24	0,88
		Солома	3,11	2,52	0,81
	Эспарцет	Целое	4,26	4,20	0,98
	Люцерна	Целое	5,14	5,10	0,99
3. Иссык-Кульский район	Озимая пшеница	Зерно	0,26	0,20	0,77
		Солома	2,99	2,14	0,71
	Яровой ячмень	Зерно	0,26	0,22	0,84
		Солома	3,53	2,86	0,81
	Кукуруза	Початки	1,26	1,19	0,94
	Эспарцет	Целое	4,26	4,22	0,99
Люцерна	Целое	5,59	5,35	0,95	
4. Туюпский район	Озимая пшеница	Зерно	0,26	0,23	0,88
		Солома	3,12	2,56	0,82
	Яровой ячмень	Зерно	0,28	0,26	0,93
		Солома	3,29	3,0	0,91
	Кукуруза	Початки	2,34	2,28	0,97
	Эспарцет	Целое	4,85	4,70	0,96
	Картофель	Ботва	2,15	2,12	0,98
		Клубни	0,54	0,42	0,77
5. Ак-Суйский район	Яровой ячмень	Зерно	0,24	0,22	0,91
		Солома	2,70	2,40	0,88
	Кукуруза	Початки	1,44	1,34	0,93
	Эспарцет	Целое	4,79	4,56	0,95
	Картофель	Ботва	2,40	2,33	0,97
		Клубни	0,65	0,48	0,73

Таблица 2

Содержание стронция-90 и кальция в урожае озимой пшеницы и ярового ячменя

Район	Тип почвы	Культура	⁹⁰ Sr, Бк/кг	Са, %	⁹⁰ Sr/Са, с.е.
1. Жеты-Огузский	Каштановые	Озимая пшеница	0,25	0,19	3,5
			2,45	0,24	27,6
2. Тонский	Светло-бурые	Яровой ячмень	0,27	0,2	3,6
			3,11	0,39	21,5
3. Иссык-Кульский	Серо-бурые	Озимая пшеница	0,26	0,12	5,8
			2,99	0,54	14,9
4. Тюпский	Темно-каштановые	Озимая пшеница	0,26	0,18	3,8
			3,12	0,30	28,1
5. Ак-Суйский	Каштановые	Яровой ячмень	0,24	0,16	4,05
			2,70	0,44	16,6

* в числителе зерно, в знаменателе солома

Сходства в поведении стронция-90 и кальция в процессах обмена веществ у растений, животных и человека, а также при перемещении их по миграционным цепочкам привели к тому, что при оценке загрязнения биосферы стронцием-90 принято рассматривать не только абсолютное содержание в биологических объектах, но и отношение к кальцию.

Для выражения содержания стронция-90 относительно кальция используют понятие «стронциевые единицы» (с.е.), 1 с.е. равна 1 пикокюри стронция-90 на 1 грамм кальция. Эти отношения в исследуемых почвах приведены в таблице 3.

Таблица 3

Содержание стронция-90 и кальция в пахотном горизонте почв

Район	Тип почвы	⁹⁰ Sr, Бк/кг	Са, %	⁹⁰ Sr/Са, с.е.
1. Жеты-Огузский	Светло-каштановые, каштановые	3,13	3,0	2,8
2. Тонский	Светло-бурые	3,10	2,4	3,5
3. Иссык-Кульский	Серо-бурые, Светло-каштановые, каштановые	2,88	2,4	3,2
4. Тюпский	Светло-каштановые, каштановые, Темно-каштановые, лугово-черноземные	3,95	2,3	4,6
5. Ак-Суйский	Светло-каштановые, темно-каштановые, черноземы.	3,19	2,0	4,3

При поступлении данных радионуклидов из почв у зерновых колосовых культур отмечается более интенсивное накопление их в вегетативных частях растений по сравнению с репродуктивными органами. Количество стронция-90 в зерне озимой пшеницы составило до 0,26 Бк/кг, в соломе от 2,45 до 3,12 Бк/кг, Содержание цезия-137 в зерне пшеницы изменялось до 0,23 Бк/кг, а в соломе 2,05 - 2,56 Бк/кг. Наблюдаемые колебания в концентрациях стронция-90 и цезия-137 связаны с различиями в физико-химических и агрономических свойствах почв, с неодинаковым содержанием в них этих радионуклидов, а также с сортовыми особенностями пшеницы. Аналогичное накопление радионуклидов характерно для ярового ячменя, как в вегетативных, так и репродуктивных частях растения. Содержание стронция-90 и цезия-137 в растениях семейств бобовых - эспарцет, люцерна выше примерно на два порядка, чем в зерновых колосовых культурах. Более низкие концентрации радионуклидов отмечены в початках кукурузы. Для картофеля накопление радионуклидов в хозяйственно ценной части урожая (клубнях) в 3-4. раз ниже, чем их аккумуляция в ботве. Отношение этих радионуклидов в культурных растениях в зависимости от региона выращивания изменяется в пределах от 0,71 до 0,99. Эти данные показывают, что из различных типов почв региона цезий-137 поступает в растения менее интенсивно, чем стронций-90. Несмотря на относительное разнообразие физико-химических и агрохимических свойств исследуемых почв, на которых выращивали озимую пшеницу, нами выявлена достоверная корреляционная зависимость между удельной активностью стронция-90 и цезия-137 в зерне и соломе пшеницы от процентного содержания гумуса в почве и рН. Отрицательные коэффициенты корреляции наблюдаются между содержанием кальция и калия в почве и удельной активностью стронция-90 и цезия-137 в растениях, что является закономерным фактом, так как при увеличении концентраций подвижных форм кальция и калия в почве, в растения снижается соответственно поступление данных радионуклидов.

Следует отметить, что культурные растения, выращенные в условиях при Иссык-Куля, характеризуются различным содержанием данных радионуклидов. Это связано с разницей их содержания в пахотном слое почв, что обусловлено многочисленными процессами, происходящими в почвенно-растительном комплексе (миграция стронция-90 и цезия-137 по почвенному профилю, переход в необменное состояние, вынос с растениями, поверхностный сток и т.д.). В таблице 2 представлены результаты анализов содержания стронция-90 и кальция в урожае озимой пшеницы и ярового ячменя из различных зон Прииссыккулья.

В почвах Прииссыккуля значения этого отношения узкое, следовательно, высокое содержание кальция в почвах обеспечивает низкое отношение стронция-90 к кальцию, что соответствует относительно низкому накоплению стронция-90 в урожае растений. Следовательно, высокие содержания кальция в почвах обеспечивают низкое отношение стронция-90 к кальцию в почвах, что соответствует относительно низкому накоплению стронция-90 в зерне и соломе зерновых колосовых культур Прииссыккуля.

Количество накапливающегося в растениях, организме животных и человека стронция-90 находится в зависимости от концентраций сопровождающего его при миграции кальция, поэтому степень опасности потребления загрязненной стронцием-90 сельскохозяйственной продукции, в том числе растительной определяется не только его абсолютным количеством в ней, но и относительным его содержанием. Если содержание стронция-90 в растениях выражать в отношении к кальцию, то различия между вегетативными и репродуктивными частями несколько сглаживаются, поскольку в соломе накапливаются больше кальция, чем в зерне. Это явление имеет большое значение при анализе включения стронция-90 в пищевые цепочки. Несмотря на относительно низкую абсолютную концентрацию стронция-90 в зерне пшеницы, этот радионуклид с зерном может активно поступать в организм человека из-за малого содержания в нем кальция.

Коэффициенты накопления стронция-90 и цезия-137 из почв в растения. Для сравнительной характеристики способностей растений к накоплению стронция-90 и цезия-137 через корневые системы часто используются коэффициентом накопления или коэффициентом концентрации. Коэффициентом накопления называют отношение между содержанием стронция-90 или цезия-137 в растениях (в Бк) на единицу сухой массы и содержанием этих радионуклидов в почве, измеренным также в тех же единицах. Этот коэффициент в зависимости от почвенно-климатических условий, биологических, видовых особенностей растений и колебаний других внешних факторов может изменяться в широких пределах, от 0,01 до 15 и более (Алексахин, 1991; Алексахин, 1985; Абдуллаев, Алиев, 1998; Радиоактивность и пища человека, 1971).

Накопление радионуклидов в растениях хорошо согласуются с содержанием в них стабильных изотопов этих же элементов. По аккумуляции растениями химические элементы разделяются на пять групп: с сильным накоплением (коэффициент накопления, $K_n > 10$), со слабым накоплением (1-10) с отсутствием аккумуляции (0,1-1), со слабой дискриминацией (0,01-0,1) и с сильной дискриминацией ($< 0,01$) Возможной причиной различий в поведении радиоактивных и стабильных нуклидов одного и того же элемента может быть разница в формах их нахождения в почвах (Алексахин, 1991).

Результаты наших исследований показывают, что коэффициенты накопления стронция-90 и цезия-137 в зерновых колосовых культурах во всех районах

Прииссыккуля, значительно меньше единицы. В соломе данных культур эти радионуклиды накапливаются интенсивнее, чем в зерне (табл. 4).

Таблица 4

Коэффициенты накопления стронция-90 и цезия-137 в культурных растениях Прииссыккуля

№	Район	Вид растений	Части растений	^{90}Sr (Кн)	^{137}Cs (Кн)
1.	Жеты-Огузский район	Озимая пшеница	Зерно	0,079	0,036
			Солома	0,78	0,34
		Яровой ячмень	Зерно	0,070	0,033
			Солома	1,11	0,51
		Кукуруза	Початки	0,42	0,21
		Эспарцет	Целое	1,5	0,74
Люцерна	Целое	1,8	0,92		
2.	Тонский район	Яровой ячмень	Зерно	0,087	0,057
			Солома	1,0	0,61
		Эспарцет	Целое	1,37	1,01
		Люцерна	Целое	1,65	1,22
3.	Иссык-Кульский район	Озимая пшеница	Зерно	0,09	0,033
			Солома	1,04	0,35
		Яровой ячмень	Зерно	0,09	0,036
			Солома	1,22	0,47
		Кукуруза	Початки	0,43	0,19
		Эспарцет	Целое	1,48	0,70
Люцерна	Целое	1,94	0,89		
4.	Тюпский район	Озимая пшеница	Зерно	0,066	0,032
			Солома	0,78	0,36
		Яровой ячмень	Зерно	0,070	0,036
			Солома	0,83	0,42
		Кукуруза	Початки	0,53	0,32
		Эспарцет	Целое	1,22	0,65
		Картофель	Ботва	0,54	0,29
Клубни	0,13		0,058		
5.	Ак-Суйский район	Яровой ячмень	Зерно	0,075	0,031
			Солома	0,84	0,34
		Кукуруза	Початки	0,45	0,19
		Эспарцет	Целое	1,5	0,65
		Картофель	Ботва	0,75	0,38
Клубни	0,2		0,079		

Различия содержания радионуклидов в хозяйственно ценной части зерновых колосовых культур достигают 10-15 кратной величины. Несколько выше коэффициенты накопления стронция-90 отмечены у эспарцета Кн (1,22-1,5) и у люцерны Кн (1,65-1,94) возделываемой на сено, что говорит о слабом накоплении радионуклида в данных культурах. Установлено, что стронций-90 в 2-6 раз интенсивнее поглощается бобовыми культурами, чем злаковыми. Содержание цезия-137, как правило, выше в зернобобовых культурах по сравнению со злаковыми. В целом растения, содержащие больше кальция, накапливают стронций-90 в повышенных концентрациях, калиелюбивые виды поглощают больше цезия-137. Низкое содержание радионуклидов ($K_n < 1$) наблюдалось в початках кукурузы, ботве и клубнях картофеля.

Наблюдаемое отношение Термин «наблюдаемое отношение» введен для установления взаимосвязи между отношением стронция-90 и кальция в биологической системе и отношением этих же ионов в источнике, откуда эти ионы поступают в

биологическую систему. В нашем исследовании источником является почва, а биологической системой - растение. При расчете «наблюдаемых отношений» в звене почва-растение нами были использованы данные по содержанию стронция-90 и кальция в почве и растениях (табл. 5).

Таблица 5

Величины «наблюдаемых отношений» в системе почва- растение для стронция-90 и кальция

Район	«Наблюдаемое отношение»		
	Зерно Почва	Солома Почва	Зерно Солома
1. Жеты- Огузский	1,25	9,8	0,13
2. Тонский	1,0	6,1	0,16
3. Иссык-Кульский	1,8	4,6	0,39
4. Тюпский	0,8	6,1	0,13
5. Ак-Суйский	0,94	3,8	0,25
Среднее	0,99	6,1	0,21

В таблице приведены «наблюдаемые отношения» для стронция-90 и кальция в системе почва-растение. Для звена зерно-почва «наблюдаемые отношения» в большинстве случаев варьируют в пределах 0,8-1,8 при среднем значении 0,99. Следовательно, в данном случае можно говорить о дискриминации стронция-90 относительно кальция. Для звена солома-почва этот показатель во всех случаях больше единицы, т.е. в этом случае наблюдается преимущественное накопление стронция-90 относительно кальция. Известно, что стронций и кальций при перемещении вверх по растению участвуют в серии обменных процессов, в каждом из которых стронций удерживается более прочно, чем кальций. По дискриминации стронция-90 и кальция, по образному выражению Р. Рассела (Радиоактивность и пища человека, 1971), стебель можно сравнить с ионообменной колонкой, через которую пропущен большой объем раствора.

Аналогичные результаты были получены в вегетационных опытах. Коэффициенты дискриминации на разных почвах колеблются для овса при полной спелости: для семян в пределах от 0,14 до 0,70, для стеблей от 1,06 до 1,89, т.е. для семян наблюдается дискриминация стронция-90 относительно кальция, а для стеблей - дискриминация кальция относительно стронция-90.

В ряде полевых опытах показано, что при перемещении стронция-90 и кальция из почвы в зерно яровой пшеницы наблюдается его дискриминация по отношению к кальцию. «Наблюдаемые отношения» для пары стронций-90 - кальций в звене почва-зерно в зависимости от видовых особенностей яровой пшеницы колеблются от 0,23 до 0,57. Это свидетельствует о том, что в звене почва-зерно для большинства видов пшеницы характерно предпочтительное накопление кальция по сравнению со стронцием-90. Отмечено, что виды пшеницы, которые характеризуются относительно большими размерами накопления стронция-90 в зерне, имеют и более высокие

«наблюдаемые отношения», по сравнению с видами, имеющими относительно низкие концентрации данного радионуклида. «Наблюдаемые отношения» в звене почва-солома у всех видов яровой пшеницы было выше единицы.

Данные Ф.И. Павлоцкой и др. (1966а) показывают, что коэффициенты дискриминации стронция-90 относительно кальция зависят от типа почвы и видовых особенностей растений, с преобладанием дискриминации радионуклида. Однако в ряде случаев наблюдается дискриминация кальция по отношению к стронцию-90. Это можно объяснить большей степенью поступления радионуклида за счет сравнительно большей его подвижности в почвах и непосредственного внекорневого поглощения. Дискриминация кальция по отношению к стронцию отмечена также в работах и других исследователей.

Проанализировав результаты наших исследований и литературные данные, можно прийти к выводу, что «наблюдаемые отношения» для системы почва-растение неодинаковы и непостоянны. Они могут изменяться в зависимости от свойств почв, биологических и сортовых особенностей растений, различных частей урожая, а также от условий внешней среды.

Следует также отметить, что, помимо указанных выше факторов, колебания в «наблюдаемых отношениях» могут быть обусловлены неравномерным распределением стронция-90 и стабильного кальция в пределах корнеобитаемого слоя почв и трудностью точного определения содержания этих нуклидов в состоянии, доступном растениям.

Литература:

1. Алексахин Р.М. Сельскохозяйственная радиоэкология. - М: Экология, 1991. -400с.
2. Алексахин Р.М. Некоторые актуальные вопросы почвенной химии естественных и искусственных радионуклидов и их накопления сельскохозяйственными растениями // Почвоведение, 1985. №11. С. 32-39.
3. Абдуллаев М.А., Алиев Дж.А. Миграция искусственных и естественных радионуклидов в системе почва-растение. - Баку: «Элм», 1998. - 240с.
4. Радиоактивность и пища человека / Р.С. Рассел, перевод с англ. - М.: «Атомиздат», 1971. - 375 с.
5. Павлоцкая Ф.И., Зацепина А.Н., Тюрюканова Э.Б., Баранов В.И. О подвижности и формах нахождения стронция-90, стабильного стронция и кальция в дерново-подзолистой и чернозёмной почвах. - В кн.: Радиоактивность почв и методы её определения. - М.: «Наука», 1966а, -С.22.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ - 99)
7. В.К. Kaldybaev, В.М. Djenbaev. Experimental Radio nuclides in Soil-Plant Complex of Agro ecosystem Near Issyk-Kul // Book of abstracts the fifth Eurasian conference on nuclear science and its application, Turkiye, 2008 - p.94.
8. Калдыбаев К., Женбаев Б.М. Искусственные радионуклиды в агроэкосистемах Прииссыккуля // Материалы Международной конференции «Биосферные территории Центральной Азии как природное наследие», Бишкек, 2009 - С. 102-105.

Рецензент: д.биол.н., профессор Печенов В.А.