



Biolog. Journal of Armenia, 1 (69), 2017

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОВОЩНЫХ КУЛЬТУРАХ В ЗОНЕ АРМЯНСКОЙ АЭС

Л.М. КАЛАЧЯН, А.О. ТАДЕВОСЯН

*Институт проблем гидропоники им. Г.С. Давтяна НАН РА
hydrop@netsys.am*

Изучали особенности накопления контролируемых искусственных радионуклидов (РН), (^{90}Sr , ^{137}Cs) в ряде овощных культур (укроп, кориандр, базилик, петрушка, сельдерей, салат, перец, томат, огурец, баклажан, кабачок, зеленая фасоль, кочанная капуста, цветная капуста, репчатый лук, картофель, арбуз, дыня), выращенных на бурых почвах, орошаемых водами р. Мецамор в зоне Армянской АЭС с радиусом 2-15 км. Выяснилось, что РН проникали в овощные культуры из оросительных вод, почвы и воздушного бассейна. Содержание РН в овощных культурах не превышало предельно допустимые концентрации (ПДК). Разработаны научно обоснованные радиозащитные практические рекомендации, применение которых на агроценозах даст возможность получать экологически безопасные сельскохозяйственные продукты.

*АЭС – радионуклиды – овощные культуры – накопление –
практические рекомендации*

Ուսումնասիրվել են Հայկական ԱԷԿ-ի շրջակա տարածքի (2-15 կմ շառավիղով գոտի) գորշ հողերի վրա մշակված և Մեծամոր գետի ջրով ոռոգված մի շարք բանջարային մշակաբույսերում (սամիթ, համեմ, ռեհան, մաղադանոս, նեխուր, հազար, տաթդեղ, լոլիկ, վարունգ, սմբուկ, դդմիկ, կանաչ լոբի, գլուխ կաղամբ, ծաղկակաղամբ, գլուխ սոխ, կարտոֆիլ, ձմերուկ, սեխ) վերահսկվող արհեստական ռադիոնուկլիդների (^{90}Sr , ^{137}Cs) կուտակման առանձնահատկությունները: Պարզվել է, որ ՌՆ-ը ներթափանցել են բանջարային մշակաբույսերի մեջ ոռոգիչ ջրերից, հողերից և օդային ավազանից: Բանջարային մշակաբույսերում ՌՆ-ի պարունակությունը չի գերազանցել սահմանային թույլատրելի խտությունները (ՍԹԽ): Մշակվել են գիտականորեն հիմնավորված գործնական ռադիոպաշտպանական հանձնարարականներ, որոնց կիրառումը ագրոհամակեցություններում հնարավորություն կտա ստանալ Էկոլոգիապես անվտանգ գյուղատնտեսական մթերքներ:

*ՀԱԷԿ – ռադիոնուկլիդներ – բանջարային մշակաբույսեր – կուտակում – գործնական
հանձնարարականներ*

Peculiarities of accumulation of controlled artificial radionuclides (RN)- ^{90}Sr , ^{137}Cs in a number of vegetable crops (coriander, dill, basil, parsley, celery, lettuce, pepper, tomato, cucumber, eggplant, marrow, green bean, cabbage, cauliflower, onion, potato, watermelon, melon) cultivated in gray soils irrigated by water of Metsamor River (2-15 km radius anthropogenic zone of the Armenian NPP) have been studied. It turned out that RN penetrated into the crops through irrigation water, soils and atmosphere. The content of RN in vegetable crops didn't exceed the allowed concentration limits (ACL). Practical recommendations have been developed for obtaining ecologically safe agricultural products.

ANPP – radionuclides – vegetable crops – accumulation – practical suggestions

Охрана окружающей среды от загрязнения радионуклидами (РН) является одной из наиболее острых проблем современности. Среди многочисленных антропогенных и природных факторов, которые влияют на биогеоценозы и на человека, важным остается радиоактивное загрязнение, экологическое значение которого особенно возросло в связи с развитием ядерной энергетики, в частности, эксплуатацией атомной электростанции (АЭС). Известно, что в процессе эксплуатации АЭС, наряду с выработкой электроэнергии, в окружающую среду выбрасываются опасные для здоровья человека многочисленные естественные и искусственные РН. Большинство их распадаются быстро и практически не участвуют в процессах обмена минеральных веществ в биологических объектах. Особенно большую биологически потенциальную опасность представляют долгоживущие РН ^{90}Sr (период полураспада $T_{1/2}=28,6$ год) и ^{137}Cs ($T_{1/2}=30,1$ год), которые включаются в биогеохимические циклы миграции и, накапливаясь в сельскохозяйственной продукции, попадают в рацион человека. Скорость и направление круговорота РН зависят от их физико-химических свойств и природных факторов [2, 3, 4, 8, 9, 11-14].

В Армении охрана окружающей среды от загрязнения РН имеет исключительно важное значение по следующей причине. Армянская АЭС расположена в густонаселенном районе (зона радиусом 2 – 15 км от ААЭС включает 3 города и 64 села, а зона радиусом 30 км – г. Ереван) интенсивного земледелия – в центре Араратской долины. ААЭС использует воду реки Мецамор. После утилизации вода поступает обратно в реку и используется для орошения земель. В условиях жаркого и сухого климата Араратской долины это экономически оправдано, а с точки зрения радиэкологии – нет. В этом случае возможны накопления РН в орошаемой почве, сельскохозяйственных культурах и, следовательно, постепенное повышение радиационной нагрузки на биологические объекты в этом регионе. Описанная ситуация настоятельно требует осуществления радиационного мониторинга в цепочке вода-почва-растение этого региона. Для решения этой задачи в зоне ААЭС радиусом 2-15 км, начиная с 1996 года, нами проводятся исследования особенностей перемещения и накопления ^{90}Sr , ^{137}Cs в природных водах (артезианская, р. Мецамор, озеро Акналич), бурых почвах и разных видах растений (сельскохозяйственные культуры, травянистые растения, плодовые и декоративные деревья и т.д.) с учетом особенностей местных условий (микрорельеф, растительный покров, почво-климатические условия и т.д.) данного региона. Целью настоящей статьи являлось изучение процессов перемещения и накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs в экосистеме поливная вода-почва-овощная культура в зоне ААЭС радиусом 2–15 км и разработка практических рекомендаций, применение которых на агроценозах этого региона позволит получать радиэкологически безопасные продукты. С 2011 года исследования продолжаются в рамках проекта 11-1f262 МОН РА.

Материал и методика. С 2011-2013 гг. периодически осуществлялся пробоотбор воды, почвы и растений зоны ААЭС с радиусом 2–15 км. В мае, августе и октябре из р. Мецамор брались образцы воды, с глубины 0-30 см – образцы бурой орошаемой почвы, занятой под овощными культурами, а также образцы из съедобных частей растений укропа (*Anethum* L.), кориандра (*Coriandrum sativum* L.), базилика (*Ocimum basilicum* L.), петрушки (*Petroselinum* Hill.), листового сельдерея (*Apium* L.), салата (*Lactuca* L.), перца (*Capsicum* L.), томата (*Lycopersicon esculentum* Mill.), огурца (*Cucumis sativus* L.), баклажана (*Solanum melongena* L.), кабачка (*Cucurbita pepo* var. *Girumontina*), зеленой фасоли (*Phaseolus* L.), кочанной капусты (*Brassica capitata* L.), цветной капусты (*Brassica oleracea* L.), репчатого лука (*Allium* L.), картофеля (*Solanum tuberosum* L.), арбуза (*Citrullus vulgaris*), дыни (*Cucumis melo* L.). Определение ^{90}Sr и ^{137}Cs во всех образцах проводилось радиохимическим методом с помощью прибора УМФ – 1500 [10]. Полученные данные сравнивались с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) [1, 2, 5].

Результаты и обсуждение. В табл. 1 приведены данные, указывающие на существенные различия в содержании РН, обусловленные неодинаковой избирательной поглотительной способностью овощных культур. Полученные данные согласуются с данными других авторов [2-4, 8, 11, 12]. По нашим данным, содержание РН в пряных листовых растениях (укроп, кориандр, базилик, петрушка, сельдерей, салат) варьировало в пределах: $^{90}\text{Sr} = 3,7-8,8$ Бк/кг, $^{137}\text{Cs} = 5,8-13,6$ Бк/кг, а в других овощных культурах (перец, томат, огурец, баклажан, кабачок, зеленая фасоль, капуста кочанная, цветная капуста, картофель, репчатый лук, арбуз, дыня) – в пределах: $^{90}\text{Sr} = 1,0-8,0$ Бк/кг, $^{137}\text{Cs} = 3,5-8,1$ Бк/кг. По данным других авторов [2], в зоне ААЭС радиусом 2-18 км содержание ^{137}Cs в овощных культурах (перец, томат, огурец, баклажан, картофель) варьировало в пределах: $^{137}\text{Cs} = 3,7-4,2$ Бк/кг, а в пряных растениях составило в среднем 6,0 Бк/кг. Очевидно, что наибольшим содержанием ^{137}Cs отличаются пряные листовые растения. Известно, что изменение режима орошения овощных культур – замена полива дождеванием на поверхностный полив, перенесение сроков полива на более ранние, увеличение норм поливов за счет уменьшения их количества позволяет снизить накопление радионуклидов в растениях в 2-10 раз [8, 11, 14]. Из этого следует, что в условиях жаркого и сухого климата Арагатской долины частые поливы пряных растений одновременно способствовали перемещению РН из поливной воды в растения, а также увеличению подвижности РН в почвенном растворе и поступлению их в растения.

По содержанию ^{90}Sr пряные листовые растения располагаются в следующий убывающий ряд: базилик > кориандр > петрушка > сельдерей > салат = укроп, а по содержанию ^{137}Cs – кориандр > базилик = петрушка > салат > укроп > сельдерей. По содержанию ^{90}Sr овощные культуры располагаются в следующий убывающий ряд: баклажан > дыня > огурец > кабачок > томат > картофель > перец > цветная капуста > кочанная капуста = арбуз > зеленая фасоль > репчатый лук, а по содержанию ^{137}Cs – баклажан > перец > арбуз > дыня > картофель > зеленая фасоль > цветная капуста > кочанная капуста = огурец > томат > кабачок > репчатый лук.

Выяснилось, что в поливной воде (река Мецамор) концентрация РН составила в среднем: $^{90}\text{Sr} = 0,12$ Бк/л и $^{137}\text{Cs} = 0,009$ Бк/л (ПДК для питьевой воды $^{90}\text{Sr} = 5,0$ Бк/л; $^{137}\text{Cs} = 11,0$ Бк/л) [2], а в орошаемой бурой почве (0-30 см) – $^{90}\text{Sr} = 9,0$ Бк/кг и $^{137}\text{Cs} = 9,8$ Бк/кг. Источниками поступления РН в поливные воды могут быть вымывание из почвы, поступление с пылью, атмосферными осадками, а также загрязнение в результате работы ААЭС [2,12].

Известно, что почвы Армении, по содержанию РН в основном составляют следующий ряд: горнолуговые > лесные > черноземные > каштановые > бурые. При этом миграция РН во многом зависит от типа почвы, её гранулометрического состава, водно-физических и агрохимических свойств [4,11]. По нашим данным, в 2011-2013 гг. в зоне ААЭС радиусом 2-15 км содержание РН в бурых почвах (0-30 см) полупустынного пояса в среднем составило: $^{90}\text{Sr} = 7,4$ Бк/кг, $^{137}\text{Cs} = 11,8$ Бк/кг. Вероятно, в орошаемую бурую почву окрестностей ААЭС РН проникали не только из поливной воды, но и из атмосферы в виде осадков гидро-и аэрозоль и пыли [2]. Следовательно, источниками поступления РН в овощные культуры служили поливная вода и орошаемая бурая почва, а также воздушный бассейн. Надо отметить, что клубни картофеля и репчатый лук защищены от аэрального поступления РН. Причем, из воздушного бассейна преобладало аэральное поступление ^{137}Cs в растения, так как в 2013 году в этом регионе количество ^{137}Cs в атмосферном воздухе в 1,4 раза, а в атмосферных осадках в 1,9 раза превосходило ^{90}Sr [2].

Таблица 1. Содержание и относительные показатели РН в овощных культурах в зоне ААЭС

Культуры	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr/ ¹³⁷ Cs, наблюдаемые отношения	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
	Бк/кг			коэффициенты накопления	
Укроп	3,7	7,5	0,6	0,4	0,8
Кориандр	8,7	13,6	0,7	1,0	1,4
Базилик	8,8	13,1	0,7	1,0	1,3
Петрушка	5,2	13,1	0,4	0,6	1,3
Сельдерей	4,8	5,8	0,9	0,5	0,6
Салат	3,7	10,1	0,4	0,4	1,0
Перец	4,5	7,2	0,7	0,5	0,7
Томат	5,7	4,6	1,3	0,6	0,5
Огурец	7,6	4,7	2,0	0,8	0,4
Баклажан	8,0	8,1	1,1	0,9	0,8
Кабачок	5,8	4,2	1,7	0,6	0,4
Зеленая фасоль	2,4	5,9	0,4	0,3	0,5
Кочанная капуста	3,2	4,7	0,8	0,3	0,5
Цветная капуста	3,8	5,6	0,8	0,5	1,2
Репчатый лук	1,0	3,5	0,3	0,1	0,3
Картофель	4,8	6,1	0,9	0,5	0,6
Арбуз	3,2	7,0	0,4	0,4	0,7
Дыня	7,8	6,8	1,3	0,9	0,7
ПДК [1, 5]	40	120	-	-	-

По нашим расчетным данным, наиболее высокие коэффициенты накопления (КН) (отношение концентрации элемента в растении к содержанию этого элемента в почве) характерны для поступления цезия в кориандр, базилик, петрушку, салат и цветную капусту. Наиболее высокий уровень накопления стронция характерен для кориандра, базилика, огурца, баклажана и дыни. Минимальная аккумуляция цезия и стронция отмечена у репчатого лука. КН ¹³⁷Cs для растений (укроп, кориандр, базилик, петрушка, сельдерей, салат, перец, зеленая фасоль, кочанная капуста, цветная капуста, репчатый лук, картофель, арбуз) в 1,2–3,0 раза выше, чем КН ⁹⁰Sr. Для томата, огурца, баклажана, кабачка, дыни КН ⁹⁰Sr в 1,1–2,0 раза выше, чем КН ¹³⁷Cs. Об этом свидетельствуют также показатели наблюдаемых отношений (НО) (соотношение ⁹⁰Sr/¹³⁷Cs в растениях и почвах) [11]. В системе почва – растение величина НО для пары ⁹⁰Sr-¹³⁷Cs для томата, огурца, баклажана, кабачка, дыни колебалась в пределах 1,1-2,0 (табл.1), т. е. НО>1. Это означает, что ⁹⁰Sr накапливается в растениях в значительно большей мере, чем ¹³⁷Cs. Для растений (укроп, кориандр, базилик, петрушка, сельдерей, салат, перец, зеленая фасоль, кочанная капуста, цветная капуста, репчатый лук, картофель, арбуз) величина НО колебалась в пределах 0,3-0,9, т.е. НО<1. Это означает, что при переходе из почвы в растения происходит преимущественное поглощение ¹³⁷Cs. Выявлено, что существует сильная положительная связь между НО и КН ⁹⁰Sr, т.к. коэффициент корреляции $r = 0,81 \pm 0,14$ и слабая отрицательная связь между НО и КН ¹³⁷Cs, т. к. $r = -0,30 \pm 0,23$ [6].

Таким образом, исследования показали, что во всех исследованных овощных культурах, выращенных с использованием воды р. Мецамор на бурых почвах в окрестностях ААЭС, содержание контролируемых РН (⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs) находится в пределах допустимых концентраций.

Практические рекомендации. Для минимизации уровней накопления РН в овощных культурах следует проводить следующие мероприятия: выращивать засухоустойчивые сорта культур с корнями, проникающими в глубокие слои почвы;

исключить полив растений методом дождевания, а также перед сбором урожая; применять полив растений капельным методом; для сокращения количества поливов использовать агротехнические приемы, способствующие повышению запасов влаги в почве; применять технологии закапывания загрязненного слоя (0-30 см) в более глубокие слои почвы.

Разработанные радиозащитные мероприятия позволят получать экологически безопасные продукты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Թարմ պտուղ բանջարեղենի տեխնիկական կանոնակարգի հավելված – ՀՀ կառավարության ղեկավարման 21-ի N 1913-Ն որոշում, 2006:
2. ՀՀ կառավարության առընթեր միջուկային ակտիվության կարգավորման պետական կոմիտեի գործունեության հաշվետվություն, 2014, www.anra.am/upload/Annual.
3. *Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др.* Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. М., Изд. АТ, 752с., 2001.
4. *Ананян В.Л., Степанян Э.К.* О влиянии ААЭС на радиоактивное загрязнение среды. Известия НАН РА. Науки о земле, XLVI, 1, с. 32-38, 1993.
5. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2,3,2,1078-01.-М.:ФГУП “Интер-СЭН”, 168с., 2002.
6. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М., с. 223-228, 1985.
7. *Калачян Л.М., Кочарян К.А., Аветисян М.М., Тадевосян Л.С.* Накопление радионуклидов в некоторых овощных культурах в зоне Армянской атомной электростанции. Известия Государственного аграрного университета Армении. №3, с. 16-19, 2008.
8. *Кенжеева Ж.К., Дюскалиева Г.У., Велямов М.Т., Байбекова Т.К.* Мониторинг химического загрязнения районированных сортов капусты и моркови на стадии выращивания в южном регионе Казахстана. Успехи современного естествознания. 2, 9, с. 162-166, 2014.
9. *Оганесян Н.М., Мириджян М.И., Асрян К.В., Оганесян А.Н.* Реабилитация ликвидаторов Чернобыльской аварии в Армении. В книге: Чернобыль-25, Материалы конференции, посвященной 25-летию аварии на Чернобыльской АЭС. Ереван, с. 56-64, 2011.
10. *Павлоцкая Ф.И.* Методы определения ^{90}Sr и других изотопов. В книге: Физико-химические методы исследования почв. М., 126с., 1966.
11. Сельскохозяйственная радиоэкология. Под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. М.: Экология, 400с., 1992.
12. *Яблоков А.В.* Миф об экологической чистоте атомной энергетики. Масштабы газо-аэрозольных выбросов АЭС, М., Учебно-методический коллектор “Психология”, 137с., 2001.
13. *Grigoryan, A. Amirjanyan, Y. Gondakyan, A. Stepanyan.* Radioactive Waste Storage Facility AT The Armenian NPP-12462 WM2012 Conference, February 26 - March 1, Phoenix, AZ, p.1-12, 2012.
14. Remediation Strategies for Contaminated Territories Resulting from the Chernobul Accident: Final report /Contract B7-5200/97/000646/MAR/C3/Eds P. Jacob. S. Fesenco, S.K. Firsacova et al. GSF-Forschungszentrum, ISSN 0721.1694, Neuherberg., 300p., 2001.

Поступила 08.04.2016