

УДК 543.53.(470.21):550.4:634.75+57.045

РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ НАЗЕМНЫХ ЧАСТЕЙ ЗЕМЛЯНИКИ В УСЛОВИЯХ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА

© 2010 А.А. Мартынова¹, Н.А. Мельник²

¹ Отдел «Медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике»
Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

² Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья
им. И.В. Тананаева Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

Поступила в редакцию 30.09.2010

Определены основные пути поступления радионуклидов в наземные части земляники садовой. Изучена аккумуляция природных и техногенных радионуклидов в различных ее частях. Установлено, что содержание радионуклидов в исследуемых объектах отвечает санитарно-гигиеническим требованиям.

Ключевые слова: *радиационный мониторинг, аккумуляция радионуклидов, земляника садовая, вегетативные части*

Необходимость проведения радиационного мониторинга сельскохозяйственной продукции, прежде всего, связана с тем, что большая роль в формировании суммарной дозовой нагрузки на население от естественного радиационного фона принадлежит облучению, обусловленному отложением в организме человека инкорпорированных радионуклидов, поступающих с продуктами питания [1]. Особенно это актуально в условиях Кольского Севера, насыщенного потенциальными источниками радиоактивных загрязнений и отсутствием данных по миграции и накоплению радионуклидов в продуктах питания. К тому же именно здесь поведение радионуклидов имеет свои особенности, связанные с экстремальными экологическими условиями, включая «пыльные бури» от хвостохранилищ действующих горнопромышленных предприятий (хвосты которых содержат естественные радионуклиды на уровне 0,001-0,01 мас.%) [2-4]. При неблагоприятных условиях атмосферные осадки и аэрозоли также становятся причиной распространения в природной среде естественных и техногенных радионуклидов, в том числе космогенного радионуклида Be^7 [3].

Методика исследований. Исследования проводили на площадке Полярной опытной станции Всероссийского института растениеводства (ПОСВИР, ныне - ФГНУ ГНЦ РФ ВИР им. Н.И. Вавилова РАСХН «Полярная опытная

станция») и дачных участках в окрестностях г. Апатиты, урбанизированного и густонаселенного района Мурманской области. Надземные части (вегетирующие побеги с розетками, цветоносы, листья с черешками) и ягоды земляники отбирали на участках открытого грунта. Отбор проб осуществлялся в вегетационные периоды 2006-2009 гг. Одновременно проводили наблюдение за содержанием радионуклидов в атмосферных аэрозолях и осадках, снежном покрове, почве, грунтовых водах и вносимых удобрениях. Установлено, что эти объекты являются основными источниками поступления радионуклидов и причиной их миграции в растения [4, 5].

Для анализа использовали сырую массу отобранных проб различных надземных частей земляники (особенно в тех случаях, когда они употребляются только в этом виде – ягоды), а также пробы, высушенные на воздухе (воздушно-сухие). Радиоаналитические исследования проводили в аккредитованной лаборатории радиационного контроля на сертифицированной гамма-спектрометрической аппаратуре «Прогресс-АБРГ» по аттестованным методикам [6, 7]. Радиационный мониторинг включал оценку содержания радиотоксичных естественных и техногенных радионуклидов. Для доверительной вероятности 0,95 (Р) погрешность определения 7Be , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs в воздушно-сухих пробах составляла 11-60% при экспозиции (Т), равной 1800-5400 с. Измерения проводились в геометрии Маринелли.

Результаты исследований. В предварительных исследованиях было установлено, что грунт открытого опытного участка ягодных

Мартынова Алла Александровна, младший научный сотрудник. E-mail: MartynovaAlla@yandex.ru

Мельник Наталия Александровна, кандидат технических наук, доцент, руководитель региональной лаборатории радиационного контроля. E-mail: melnik@chemy.kolasc.net.ru

культур, на которых выращивается земляника, содержит кларковые количества природных радионуклидов рядов ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K . Содержание ^{40}K в грунте до внесения удобрений составляло 390-450 Бк/кг, что свидетельствует о низком плодородии почвы и необходимости внесения значительных количеств калийных удобрений. Техногенные радионуклиды, кроме ^{137}Cs , отсутствуют. Удельная радиоактивность ^{137}Cs в грунте равна $5,8 \pm 1,5$ Бк/кг. Эффективная удельная активность грунта ($A_{\text{эфф}}$) находится в пределах 70 ± 8 Бк/кг. Основной вклад в $A_{\text{эфф}}$ вносит ^{40}K (до 57%). Из этих данных следует, что грунт содержит только естественные радионуклиды, характерные для данного геологического образования. Суммарная удельная

альфа- и бета-активность грунтовых вод на опытном участке находилась в пределах 0,05 Бк/л и 0,96 Бк/л соответственно. С учетом неопределенности измерений эти значения близки к нормируемым (0,2 и 1,0 Бк/л соответственно виду излучения [8]).

Исследования показали, что за счёт естественного извлечения радионуклидов из почвы и подземных вод все анализируемые надземные части земляники также содержат природные радионуклиды рядов ^{238}U и ^{232}Th , в количествах, близких к кларковым $(2-19) \cdot 10^{-4}$ мас.%) и ^{40}K . В таблицах приведены средние значения результатов многолетних наблюдений.

Таблица 1. Распределение радионуклидов в надземных частях земляники садовой (воздушно-сухая масса)

Объект	^{137}Cs	^{214}Pb	^{226}Ra	^{232}Th	^7Be	^{40}K
листья	3,3	22,3	4,2	6,3	141,5	426,5
усы	7,2	77,1	111,3	60,5	24,4	593,0
чашелистики	33,0	89,6	21,4	27,0	110,5	424,5
розетки	2,.	3,5	97,3	15,0	12,0	177,0

Содержание техногенного радионуклида ^{137}Cs в расчете на сырую массу растений менее 10 Бк/кг, что соответствует содержанию его в грунте и свидетельствует о значительной миграции в растения в возрастающей последовательности: **розетки < лист < усы < чашелистик**. Максимальные концентрации его обнаружены в чашелистиках, причем в пробах

позднего осеннего сбора содержание ^{137}Cs снижается за счет вымывания (табл. 2), хотя удельная радиоактивность других исследуемых радионуклидов повышается. В целом, концентрации ^{137}Cs значительно ниже нормативных значений для лекарственных и пищевых продуктов.

Таблица 2. Временное распределение радионуклидов в чашелистиках земляники садовой (воздушно-сухая масса)

Дата отбора проб	^{137}Cs	^{214}Pb	^{226}Ra	^{232}Th	^7Be	^{40}K
июль 2006 г.	47,8	48,9	12,3	26,6	35	374
август 2006 г.	18,3	128,3	30,5	27,4	186	475

Увеличение концентрации ^{40}K в растениях связаны, в первую очередь, с применением калийного удобрения. Так содержание ^{40}K в ягодах земляники, собранных на участках с использованием калийных удобрений, больше в 3,5 раза, чем в ягодах, собранных на участках без удобрений (табл. 3). Исследования показали, что при внесении подкормки из калийных

удобрений содержание ^{40}K в листьях земляники увеличивается до 500 Бк/кг (табл. 2). Вторым фактором, влияющим на аккумуляцию ^{40}K в наземной части земляники, является наиболее благоприятные для развития растений природно-климатические условия, которые были зарегистрированы в 2007 г. (табл. 4).

Таблица 3. Влияние удобрений на содержание радионуклидов в ягодах земляники садовой (сырая масса)

Условия выращивания	^{137}Cs	^{214}Pb	^{226}Ra	^{232}Th	^7Be	^{40}K
с внесением удобрения	1,2	6,1	10,5	2	5	43,2
без внесения	0,9	7,1	11,4	4,2	3,5	13,5

Таблица 4. Временное распределение радионуклидов в листьях земляники садовой (воздушно-сухая масса)

Дата отбора проб	¹³⁷ Cs	²¹⁴ Pb	²²⁶ Ra	²³² Th	⁷ Be	⁴⁰ K
10.10.2006	3,3	22,3	4,2	6,3	141,5	426
10.10.2007	3,8	72,0	5,5	3,7	29,3	595

Накопление ⁴⁰K отличается от поведения ¹³⁷Cs тем, что он в наибольшей степени аккумулируется в листьях (максимальное значение – 595 Бк/кг), а ¹³⁷Cs – в чашелистиках. Наземные части земляники по возрастающей последовательности содержания ⁴⁰K располагаются в ряд: **розетки < чашелистик < лист < усы.**

Накопление ²²⁶Ra и ²³⁸U в листьях земляники связано с биологическими особенностями растения и различной подвижностью нуклидов, как в растениях, так и в почве. Максимальные накопления ²²⁶Ra обнаружены в розетках и усах (до 110 Бк/кг), аккумуляция увеличивается в последовательности: **лист < чашелистик < розетки < усы.** Удельная радиоактивность ²³²Th значительно меньше ²²⁶Ra и ²³⁸U во всех частях растений за счет малой подвижности его в почве. Максимальное значение его обнаружено в усах (60 Бк/кг), аккумуляция увеличивается в последовательности: **лист < розетки < чашелистик < усы.** Возможно, за счет воздействия ионизирующего излучения этих радионуклидов на основной ассимиляционный аппарат земляники, к которому относятся усы и розетки, они так интенсивно разрастаются и размножаются.

В чашелистиках обнаружены довольно высокие концентрации (110-150 Бк/кг) ²¹⁴Pb, дочернего продукта распада радия-226. Повышенные содержания естественных радионуклидов, по-видимому, связаны с содержанием ²¹⁴Pb в атмосферных аэрозолях и осадках, «пыльными бурями» в летний период, характерных для исследуемого района. Распределение ²¹⁴Pb в надземных частях земляники совпадает с поведением ¹³⁷Cs, накопление увеличивается в ряду: **розетки < лист < усы < чашелистик.**

Все анализируемые пробы содержали природный радионуклид космического происхождения ⁷Be за счет попадания его в почву из атмосферы и поглощения листьями. Концентрация его последовательно увеличивалась в ряду: **розетки < усы < чашелистик < лист.** Установлено, что содержание ⁷Be в листьях в 5,8 раз превышает содержание его в усах. Максимальные значения удельной радиоактивности ⁷Be обнаружены в развитой листовой структуре позднего, осеннего сбора. Содержание ⁷Be в листе колебалось от 35 до 186 Бк/кг и зависело от содержания его в атмосферных аэрозолях и

осадках, которое спорадически изменялось под влиянием природно-климатических факторов [3]. Такое распределение радионуклида свидетельствует о преимущественном поступлении его из атмосферы в вегетативный период и адсорбции за счет более развитой поверхности листьев растений и ворсистой поверхности чашелистиков. В ягодах разной крупности также содержатся все исследуемые радионуклиды, но количество их близко к фоновым значениям. Настораживает повышение содержания ²¹⁴Pb в них (рис. 1), но, поскольку он не нормируется по радиоактивности, необходим контроль за содержанием стабильного изотопа свинца.

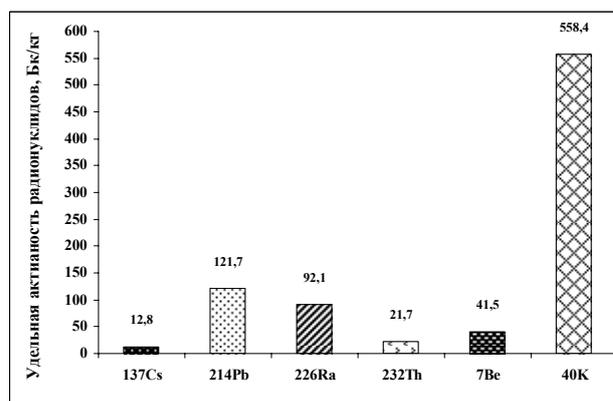


Рис. 1. Распределение радионуклидов в ягодах земляники садовой (сухая масса)

Выводы: на территории исследуемого района имеются предпосылки для накопления радионуклидов в почве и миграции их в растения. Использование удобрений с повышенным содержанием природных радионуклидов со временем может привести к накоплению их в почве и растениях. Исследования показали, что листовая часть растений в большей степени накапливает такие радионуклиды как ⁷Be и ⁴⁰K. ²²⁶Ra и ²³²Th преимущественно накапливаются в усах; в чашелистиках аккумулируются ¹³⁷Cs и ²¹⁴Pb. Качество ягод земляники удовлетворяет санитарно-гигиеническим требованиям. Полученные данные не превышают нормированных значений для лекарственных растений и пищевых продуктов, но могут влиять на биологические и физиологические свойства земляники садовой, адаптацию ее в северных условиях [9] и снижать качество земляники садовой как источника витаминов и продукта питания населения.

Полученные результаты могут быть использованы для экологического и радиационного мониторинга сельскохозяйственной продукции, как в условиях Кольского Севера, так и в других областях России.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Ведущие научные школы» по заявке 2006-РП-112.0/001/268 и регионального Центра коллективного пользования (ЦКП ИХТРЭМС КНЦ РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. СП 2.6.1.1292-03., М.: Минздрав России, 2003. 16 с.
2. Мельник, Н.А. Радиогеоэкологические аспекты безопасности использования горнопромышленных отходов Кольского региона в производстве строительных материалов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. 114 с.
3. Мельник, Н.А. Радиационный мониторинг естественных радионуклидов в северных широтах // Север-2003: Проблемы и решения. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. С. 77-89.
4. Мельник, Н.А. Радиационный мониторинг древо-стоя центрального района Кольского полуострова // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им И.В.Тананаева Кольского научного центра РАН. – Апатиты, 2006. 48 с.
5. Мельник, Н.А. Радиационный мониторинг снежного покрова как индикатора распространения загрязнений // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им И.В.Тананаева Кольского научного центра РАН, Апатиты, 2007. 53 с.
6. Мельник, Н.А. Методика определения радиационно-гигиенических характеристик растительных объектов (М ЛРК ИХ 2.6.1.-09-2007), утв. 12.06.2007 г. Свидетельство №40090.8a094-4 об аттестации МВИ // г. Апатиты: ИХТРЭМС КНЦ РАН, 2008. 19 с.
7. Методика измерения активности радионуклидов в счётных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «ПРОГРЕСС». М.: ФГУП «ВНИИФТРИ», 1996. 41 с.
8. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы. – 2-е изд. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
9. Мельник, Н.А. Влияние радиационных показателей на биохимические свойства земляники садовой и адаптацию ее в северных условиях / Н.А. Мельник, А.А. Мартынова // Физико-химические механизмы адаптации растений к антропогенному загрязнению в условиях Крайнего Севера: Материалы междунауч. конф., Апатиты, 10-12 июня 2009 г. – Апатиты: Изд-во ООО К&М, 2009. ч. 1. С. 80-81.

RADIATING MONITORING OF LAND PARTS OF WILD STRAWBERRY IN THE CONDITIONS OF KOLA NORTH

© 2010 А.А. Martynova¹, N.A. Melnik²

¹ Department of Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic, Kola Science Centre RAS, Apatity

² Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Raw Mineral Materials named after I.V. Tananaev Kola SC RAS

The basic ways of radio nuclides reception in land parts of the wild strawberry garden are defined. Accumulation of natural and technogenic radionuclides in its different parts is studied. It is established that the maintenance of radionuclides in investigated objects respond sanitary-and-hygienic requirements.

Key words: *radiating monitoring, accumulation of radionuclides, wild strawberry garden, vegetative parts*

Alla Martynova, Minor Research Fellow. E-mail: MartynovaAlla@yandex.ru
Nataliya Melnik, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief of the Regional Laboratory of Radiation Control. E-mail: melnik@chemy.kolasc.net.ru