

Ахмедова Гулжахон

Профессор Самаркандского государственного университета
имени Шарофа Рашидова

Email: guljakhonakhmedova@gmail.com

Тухтаев Улугбек Уктамович

Доцент Самаркандского государственного университета
имени Шарофа Рашидова

Email: ulugbekuktamovich89@gmail.com

Эрнапасова Мухайё Абдурасул кизи

Магистрант Самаркандского государственного университета
имени Шарофа Рашидова

Email: ernapasovamuxayyo@gmail.com

Хайдаров Умиджон Эркинович

Докторант Самаркандского государственного университета
имени Шарофа Рашидова

Email: umidjon_haydarov@samdu.uz

Юнусова Умаробегим Хасановна

Стажёр кафедры Самаркандского государственного университета
имени Шарофа Рашидова

Email: umarabegim@gmail.com

Негматова Зухра Назиржон кизи

Студентка Самаркандского государственного университета
имени Шарофа Рашидова

Email: zuxronematova636@gmail.com

УДК 504.055:504.064

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ РАСТЕНИЯМИ

Аннотация: В данной работе исследуется накопление естественных ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и техногенного ^{137}Cs радионуклидов в четырех видах растений и в молоке с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра. Результаты показывают, что степень накопления радионуклидов в растениях,

произрастающих в одинаковых почвенно-климатических условиях различна. Калий – 40 (7,3 – 15,4), радий – 226 (2,2 – 4,5), торий – 232 (0,3 – 0,9), и цезий – 137 (1,87 – 5,37). В молоке соответственно 10,6 0,42 0,07 и 0,37. Радиоактивность молока обусловлена в основном ^{40}K (97%) частично ^{226}Ra , ^{232}Th , и ^{137}Cs . В растениях, особенно в молоке интенсивно накапливается радиоактивный изотоп калий – 40, далее радий – 226, что связано с, видимо, лучшей растворимостью калия и радия в воде по сравнению с торием.

Ключевые слова: накопление, коэффициент, радионуклид, растения, почва, молоко, радий, торий, калий, цезий, естественные, техногенные, спектр, гамма-спектрометр.

Axmedova Guljahon

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti professori

Tuxtayev Ulug‘bek Uktamovich

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti dotsenti

Ernapasova Muxayyo Abdurahul qizi

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti magistranti

Haydarov Umidjon Erkin o‘g‘li

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti tayanch doktoranti

Yunusova Umarobegim Hasanovna

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti stajyori

Negmatova Zuxra Nazirjon qizi

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti talabasi

O‘SIMLIKLARDA RADIONUKLIDLARNING TO‘PLANISHI

Annotatsiya: Mazkur tadqiqot ishda to‘rtta o‘simlik turida va sutda tabiiy ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K va texnogen ^{137}Cs radionuklidlarining to‘planishini ssintillyatsion gamma-spektrometr yordamida o‘rganildi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, bir xil tuproq va iqlim sharoitida o‘stirilgan o‘simliklarda radionuklidlarning to‘planish darajasi har xil. Kaliy-40 (7,3-15,4), radiy-226 (2,2 - 4,5), toriy-232 (0,3-0,9) va seziy-137 (1,87-5,37). Sutda mos keladigan miqdorlar 10,6, 0,42, 0,07 va 0,37 ni tashkil qiladi. Sutning radioaktivligi asosan ^{40}K (97%) va qisman ^{226}Ra , ^{232}Th va ^{137}Cs ga bog‘liq.

O‘simliklarda, ayniqsa sutda, kaliy-40 radioaktiv izotopi intensiv ravishda to‘planadi, keyin esa radiy-226, bu, kaliy va radiyning toriyga nisbatan suvda yaxshiroq eruvchanligi bilan bog‘liq.

Kalit so‘zlar: *to‘planishi, koeffisient, radionuklid, o‘simlik, tuproq, sut, radiy, toriy, kaliy, seziy, tabiiy, texnogen, spektr, gamma-spektrometr.*

Akhmedova Guljakhon

Professor, Samarkand State University named after Sharof Rashidov

Tukhtayev Ulugbek Uktamovich

Associate Professor, Samarkand State University named after Sharof Rashidov

Ernapsova Muxayyo Abdurahul qizi

Master’s student, Samarkand State University named after Sharof Rashidov

Haydarov Umidjon Erkinovich

PhD Student at Sharof Rashidov Samarkand State University

Yunusova Umarabegim Khasanovna

Intern at Sharof Rashidov Samarkand State University

Negmatova Zukhra Nazirjon qizi

Student, Samarkand State University named after Sharof Rashidov

ACCUMULATION OF RADIONUCLIDES IN PLANTS

Annotation: *In this work, the accumulation of natural radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K and the anthropogenic radionuclide ^{137}Cs was investigated in four types of plants and in milk using a scintillation gamma spectrometer. The results show that the degree of radionuclide accumulation in plants growing under the same soil and climatic conditions varies. The measured concentrations (Bq/kg) were as follows: potassium-40 (7,3 – 15,4), radium-226 (2,2 – 4,5), thorium-232 (0,3 – 0,9), and cesium-137 (1,87 – 5,37). In milk, the corresponding values were 10,6 0,42 0,07 and 0,37. The radioactivity of milk is mainly due to ^{40}K (97%), with partial contributions from ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{137}Cs . In plants, and especially in milk, the radioactive isotope potassium-40 accumulates most intensively, followed by radium-226, which is apparently due to the higher solubility of potassium and radium in water compared to thorium.*

Key words: *accumulation, coefficient, radionuclide, plants, soil, milk, radium, thorium, potassium, cesium, natural, anthropogenic, spectrum, gamma spectrometer.*

Краткая теория

Немаловажный интерес представляет оценка накопления радионуклидов растениями. В данной работе исследуется возможность определения коэффициента накопления естественных ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , и техногенного ^{137}Cs радионуклидов для некоторых растений и коровьего молока с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра.

Растения обладают свойством для своего развития накапливать вместе с органическими веществами и все радионуклиды, содержащиеся в объектах (вода, почва, воздух) окружающей среды. Они накапливают радионуклиды в форме аэрозолей, растворов и газов. Они и являются основным звеном в пищевой цепочке поступления радионуклидов к живым организмам: горные породы → почва → вода → воздух → растения → пищевые продукты → человек. Поэтому растения считаются одним из основных источников поступления радионуклидов к животным и человеку. Различают два вида поступления радионуклидов в растения: аэральная и корневая. Первое представляет собой усвоение радиоактивных аэрозолей надземными органами растений. При этом радионуклиды оседают на листьях, на поверхности стеблей деревьев, растений. В приземном слое воздуха существуют космогенные радионуклиды (^{14}C , ^3H , ^7Be и др.) и также образующейся при распаде радона и торона. Главным образом долгоживущие ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22$ лет) и ^{210}Po ($T_{1/2} = 138$ дней) [1-2].

Кроме того, в атмосфере, могут определяться техногенные радионуклиды, образовавшимися при атмосферных испытаниях ядерного оружия. В настоящее время активность техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды, обуславливаются в основном долгоживущими техногенными радионуклидами: ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30$ лет) и ^{90}Sr ($T_{1/2} = 29,12$ года) [3-4].

Естественные и техногенные радионуклиды, содержащиеся в верхних слоях атмосферы в виде аэрозолей, вместе с сухими и мокрыми осадками

выпадают на поверхность Земли, на верхних органах растения и на всех объектах окружающей среды. Наиболее интенсивно радионуклиды накапливаются в листьях и стеблях. При аэральном поступлении радионуклидов, уровень их накопления определяется двумя обстоятельствами: скоростью выпадения радиоактивных аэрозолей и морфофункциональными свойствами растения. И также от состояния погоды. Радионуклиды, выпавшие на поверхность растений, частично вымываются дождями и со временем, переходят во внутрь растений, и при помощи тока жидкости растений, распределяются по различным частям последних.

Одним из наиболее широко применяемых является коэффициент накопления – K_n , определяется как отношение содержания радионуклида в сухой массе растения к его содержанию в единице массы почвы [1-2].

$$K_n = \frac{A_{нр}}{A_{поч}} \quad (1)$$

где $A_{нр}$ – удельная активность накопленного того или иного исследуемого радионуклида в растения, Бк/к.

$A_{поч}$ – удельная активность этого же радионуклида в почве, Бк/кг.

Сведения о степени накопления каждого вида радионуклидов растениями позволяет использовать растения для решения ряда задач, связанных с созданием системы фоновго мониторинга состояния окружающей природной среды, при подборе для анализа растений в биохимическом методе полезных ископаемых, в фармакологии и пищевой промышленности и др.

Для этой цели целесообразно использовать сцинтилляционный гамма-спектрометрический метод, который обладает рядом преимуществ таких, как возможность одновременного определения исследуемых радионуклидов при сохранении их взаимного природного соотношения, большой эффективностью регистрации информации, исключение, трудоемкого химического разложения образца и дорогостоящих источников облучения.

В связи с этим, в данной работе исследуется возможность определения коэффициента накопления естественных ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и техногенного ^{137}Cs

радионуклидов в некоторых растениях и в коровьем молоке с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра.

Материалы и методика. Исследуемые образцы почв и растений отобраны из зоны предгорной равнины села Сазаган Самаркандского района в июне месяце 2023 г. Были собраны четыре вида растений с корневой системой: мята, девясил, катран, шпинат. С этой же территории было взято коровье молоко.

Образцы почвы отбирались из под корней растений. Собранные растения и образцы почв высушивались в комнатной температуре, измельчались, очищались от посторонних примесей и упаковывались в одно литровые сосуды Марианелли.

Измерения гамма-спектров приготовленных образцов проведено с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с кристаллом NaI(Tl), размером $\varnothing 80 \times 80$ мм и энергетическим разрешением $\sim 8\%$ на линии 661 кэВ ^{137}Cs , помещенного в свинцовую защиту 10 см. Длительность отдельных измерений составляла 6 часа.

Регистрация и обработка гамма-спектрометрической информации образцов почв и растений осуществлялась на РС. Обработка γ -спектров проведена согласно методике [6] разложения спектров на составляющие. Во всех измеренных спектрах проявляются составляющие фона и естественных радионуклидов урана-ториевых семейств и техногенного радионуклида ^{137}Cs .

Спектральный состав составляющей фона и естественных радионуклидов идентичен. Однако, интенсивность гамма-линий естественных и техногенного ^{137}Cs радионуклидов в спектрах растений по сравнению с γ -линиями этих же радионуклидов в почве слабее.

Удельная активность исследованных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs устанавливалась по интенсивности их гамма линий [5]:

- по γ -линии ^{214}Bi с энергией 609 кэВ ($n_\gamma=47\%$) дочернего радионуклида ^{226}Ra ;

- ^{40}K по γ -линии с энергией $E_\gamma = 1460$ кэВ ($n_\gamma = 11\%$) самого ^{40}K ;

- ^{232}Th по γ -линии с энергией $E_\gamma = 238$ кэВ ($n_\gamma = 47\%$) ^{212}Pb дочернего радионуклида ^{232}Th ;

- ^{137}Cs по γ -линии с энергией $E_\gamma = 661$ кэВ ($n_\gamma = 93\%$) самого ^{137}Cs .

Среднеквадратичная погрешность в установленном значении удельной активности варьировалась от 10 % до 30 %.

По установленным значениям удельной активности ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs в почвах и растениях с использованием формулы (1) вычислены их коэффициенты накопления в исследованных растениях и в коровьем молоке. Результаты приведены в таблице.

Таблица 1

Установленные значения коэффициентов накопления исследованных радионуклидов в некоторых растениях и коровьего молока

№	Наименование растений	$(K_nP)_{\text{Ra}}$	$(K_nP)_{\text{Th}}$	$(K_nP)_{\text{K}^{40}}$	$(K_nP)^{137}_{\text{Cs}}$
1	Мята	2,28	0,99	7,30	2,37
2	Девясил	3,28	0,50	13,03	3,87
3	Катран	4,50	0,74	13,33	5,37
4	Шпинат	-	0,34	15,45	1,87
5	Молоко	0,42	0,07	10,60	0,37

Как следует из данных таблицы, для исследованных образцов различных растений, произраставших в одинаковых почвенно-климатических условиях, молоко коэффициенты накопления радионуклидов различна. Для радия изменяется в пределах (2,28 – 4,50). Наибольшее значение накопления наблюдается для растения Катран – 4,50 и девясил – 3,87, а наименьшее для растения Мята – 2,28. Однако, в растении шпинат, произраставшем на этой же почве, в пределе чувствительности методики радий не обнаруживается. Это свидетельствует о том, что накопление радия растениями, кроме питательной среды, может зависеть от видовых особенностей и также от избирательных свойств растений. Значение коэффициента накопления радия в молоке по

сравнению с растениями имеет малое значение – 0,42. Коэффициент накопления тория для всех исследованных образцов имеет значение меньше единицы и колеблется в пределах (0,07 – 0,99). Видимо, это связано со слабой растворимостью минералов тория в природных водах, так как растения через корневые системы поглощают радионуклиды в растворенной форме. В отличие от значений коэффициента накопления радия и тория наибольшим значением коэффициента накопления обладает радионуклид ^{40}K . Они варьируются от 7,30 до 15,45 – наименьшим значением обладает мята – 7,30, а наибольшим шпинат – 15,45. Коэффициент накопления техногенного радионуклида ^{137}Cs для исследованных образцов достигает (1,87-5,37). Наибольшее значение наблюдается для растения Катрана (5,37) и девясила (3,87), а наименьшее для шпината (1,80) и мяты (2,37).

Степень загрязнения растений техногенными радионуклидами различна. Загрязнение растений продуктами деления, задерживаемыми при выпадении из атмосферы, зависит как от физических свойств радиоактивных частиц, так и от формы растений. Наиболее пылеуловителями являются растения, покрытие ворсинками. Растения катран и девясил, которые обладают наибольшими значениями концентрации ^{137}Cs относятся к такому типу. При объяснении различия в поглощении растениями ^{137}Cs необходимо учесть факторы, влияющие на поглощение продуктов деления растениями, такие как концентрации этих радионуклидов во внешней среде. Перенос радионуклидов зависит от физиологического состояния тканей растения. Наиболее интенсивно радионуклиды накапливаются в листьях и стеблях [1]. Поэтому наиболее высокие уровни концентрации радионуклидов в тканях растений обуславливается поверхностным отложением их на листьях и стеблях. Поступление радионуклидов через корневую систему составляет сотые доли того, что может быть задержано надземными частями растений.

Среди радиоактивных элементов, которые образуются в результате деления ядер, цезий и стронций являются теми, которые растения могут легче всего усвоить [1-2]. Коэффициент накопления ^{137}Cs в молоке имеет наименьшее

значение – 0,37. Интенсивность перехода радионуклидов в молоко зависит от типа пастбища, на котором проводится выпас коров, от степени загрязнения трав и кормов.

Большее по сравнению с коэффициентом накопления ^{232}Th , накопление ^{40}K и ^{226}Ra в образцах растительности можно объяснить лучшей растворимостью соединений калия и радия в воде по сравнению с соединениями тория. Кроме того, калий принадлежит к распространённым элементам, содержание его в Земной коре равно 2,4%. В почвах его среднее содержание достигает 1–3,6%. Радий легче задерживается в почве и плохо вымывается. Содержание радия в разных почвах в среднем составляет $(0,3–0,9) \cdot 10^{-10} \%$. Из почвы радионуклиды в том числе K и Ra вместе с почвенными растворами поступают в растения пропорционально содержанию их в почве [2–7].

С учётом выше приведённых, видимо можно объяснить большое значения коэффициента накопления ^{40}K и ^{226}Ra растениями.

Основные выводы:

1. Показана возможность определения коэффициента накопления естественных ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и техногенного ^{137}Cs радионуклидов в растениях и в молоке использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра.

2. Степень накопления радионуклидов в растениях, произрастающих в одинаковых почвенно-климатических условиях различна (табл.). Это свидетельствует о том, что поглощение радионуклидов растениями кроме питательной среды, может зависеть от видовых особенностей и так же от избирательного свойства растений.

3. В растениях, особенно в молоке наиболее интенсивно накапливается радиоактивный калий, далее радий 226, видимо, это связано лучшей растворимостью калия и радия в воде по сравнению с торием.

4. Свойством значительного накопления радионуклидов обладает катран, девясил.

5. Накопления ^{137}Cs в исследованных растениях различна. При объяснении такого различия, видимо, необходимо учесть физико-химические свойства и размер радиоактивных частиц, формы растений, влияние pH, концентрации во внешней среде.

6. Значение коэффициента накопления тория для всех исследованных растений и в молоке меньше единицы. Видимо, это связано со слабой растворимостью минералов тория в природных водах, так как растения поглощают радионуклиды в растворенной форме.

7. Радиоактивность молока в основном обусловлена калием-40 (97%) и частично радием-226, торием-232 и цезием-137.

8. Полученные результаты позволяют дать рекомендации при подборе растений для анализа при решении вышеизложенных задач.

Список литературы:

1. М.Я. Василенко, О.И. Василенко Биологическое действие продуктов ядерного деления. Издательство Бином Москва – 2011, стр. 50-55.
2. Л.А. Перцов Ионизирующие излучения биосферы. М.: Атомиздат, 1973, стр. 87-93, 249-251, 256.
3. М.Т. Максимов, Г.О. Оджагов Радиоактивные загрязнения и их измерение. М.: Энергоатомиздат 1989, стр. 71-72.
4. А.Т. Азимов, О.Б. Маматкулов, А.А. Сафаров, З.А. Холиулов и др. Радионуклиды в лишайниках, растениях и почве отрогов зарафшанского хребта, Журнал «Атомная энергия» Т. 120, вып. 4, 2016, стр. 232-234.
5. А.Т. Муминов, Т.М. Муминов, И. Холбоев, Г. Ахмедова, О.Б. Маматкулов, Атроф – мухит объектларини гамма – спектрометрия усуллари билан таъкид қилш, монография Самарканд, 2020 йил 82-88 бетлар
6. A.N. Azimov, Sh.X. Hushmuradov, I.T. Muminov, T.M. Muminov, B.S. Osmanov, A.N. Safarov, A.A. Safarov Gamma – spectrometric determination of natural radionuclides and ^{137}Cs concentrations in environmental samples. The improved scintillation technique. Radiation Measurements, V. 43 (2008), pp. 66-71.

7. А.А.Сауков Радиоактивные элементы Земли, М.: Атомиздат, 1961 стр 47-49.