

Определение удельной активности тория-228 в почве

О.Н. Прокофьев

ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

Для повышения плодородия в почву вносят минеральные удобрения, которые содержат радионуклиды торий-228. По биологической цепочке почва – растение – человек торий-228 поступает человеку. Это может приводить к дополнительному облучению человека и к необходимости контроля удельной активности тория-228 в почве. Предлагаемый метод позволяет определять удельную активность тория-228 в почве.

Ключевые слова: почва, торий-228, удельная активность, гамма-спектрометрия, альфа-радиометрия.

При внесении минеральных удобрений в почву поступают радионуклиды семейства тория-232 [1, 2]. Имеются сведения о том, что в шкале относительного риска от радионуклидов, поступающих в окружающую среду, торий-228 занимает одно из первых мест [3]. Систематическое и длительное внесение минеральных удобрений может привести к их накоплению в почве. В связи с этим предложено нормировать содержание природных радионуклидов в фосфорных удобрениях, вносимых в почву [4]. Это требует контроля содержания природных радионуклидов и, в частности, тория-228 в почве.

Известные методы контроля отличаются значительной трудоемкостью исполнения. Эманионный метод определения тория-228 в почве [5] требует: использования дорогих реактивов, выполнения ряда трудоемких процедур и применения ионизационной камеры.

Другой метод [5] определения тория-228 основан на измерении равновесной активности радионуклида этого семейства радия-224, выделенного из анализируемой пробы почвы. Данному методу также присущи недостатки, отмеченные выше. Еще одним недостатком этого метода является то, что для его осуществления требуется проведение альфа – радиометрии препарата, содержащего радий-224. В связи с этим применение указанных методов при радиационном контроле проб почвы затруднено.

Существует необходимость разработки такого метода определения удельной активности тория-228 в почве, который не требовал бы применения столь сложного и дорогостоящего оборудования, как в методах, указанных выше. Предлагаемый метод [6] основан на применении последовательности следующих процедур: перевод пробы почвы в раствор; внесение в пробу почвы носителя свинца (например, в виде водного раствора азотнокислого свинца); размещение пробы почвы в герметичном сосуде и выдерживание в нем не менее 20 суток для достижения радиоактивного равновесия в цепочке $^{224}\text{Ra} - ^{220}\text{Rn} - ^{216}\text{Po} - ^{212}\text{Pb} - ^{212}\text{Bi} - ^{208}\text{Tl}$; выделение из пробы почвы препарата хромата свинца; определение числа импульсов N_{Tl} гамма-линии 2,615 МэВ таллия-208 при гамма-спектрометрии препарата хромата свинца через 5–10 часов после его выделения; определение интервалов времени от момента выделения хромата свинца

до момента начала t_1 и до момента конца t_2 набора числа импульсов от препарата хромата свинца. На том же приборе выполняется гамма-спектрометрия равновесного калиброванного источника радия-226 по гамма-линии 2,448 МэВ висмута-214 и определяется число набранных импульсов этой гамма-линии N_{Bi} и длительность T их набора. По полученным результатам удельная активность тория-228 A_{Th} в пробе почвы определяется по формуле:

$$A_{\text{Th}} = a_{\text{Ra}} \cdot \frac{N_{\text{Tl}}}{N_{\text{Bi}}} \cdot \frac{\delta_{\text{Bi}}}{\delta_{\text{Tl}}} \cdot \frac{\lambda \cdot T}{(e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2})} \cdot \frac{1}{p \cdot m}, \text{ Бк/кг} \quad (1)$$

где a_{Ra} – активность калиброванного источника радия-226, Бк;

N_{Tl} – число импульсов гамма-линии 2,615 МэВ таллия-208;

N_{Bi} – число импульсов гамма-линии 2,448 МэВ висмута-214;

δ_{Tl} – доля распадов висмута-212, сопровождающихся образованием таллия-208, $\delta_{\text{Tl}} = 0,3589$ [7];

δ_{Bi} – доля распадов висмута-214, сопровождающихся испусканием фотона с энергией 2,448 МэВ, $\delta_{\text{Bi}} = 0,0155$ [7];

λ – постоянная радиоактивного распада свинца-212, $0,065 \text{ час}^{-1}$ [7];

T – длительность набора импульсов от калиброванного источника радия-226, час;

t_1 и t_2 – моменты начала и конца набора числа импульсов от препарата хромата свинца, час;

p – выход носителя по свинцу в долях;

m – масса пробы почвы, использованной в анализе, кг.

Основная составляющая анализа (выделение хромата свинца из пробы почвы) согласно предлагаемому методу требует минимального использования широко доступных реактивов (носитель свинца, кислоты плавиковая, азотная, соляная) и применения наиболее простого оборудования (весы, муфельная печь, химические стаканы и пипетки). Самой дорогостоящей составляющей оборудования, необходимого для осуществления метода, является гамма-спектрометр, который является штатным прибором радиологической лаборатории.

Пример осуществления метода. В пробу почвы массой 0,1 кг, прокаленной в муфеле при температуре 500°C, внесен носитель свинца в виде водного раствора азотнокислого свинца $Pb(NO_3)_2$ с концентрацией 20 мг/мл по свинцу в объеме 50 мл. Полученная проба переведена в раствор путем разложения смесью плавиковой кислоты и концентрированной азотной кислоты. По методике, изложенной в методических рекомендациях [5], из пробы выделен хромат свинца $PbCrO_4$ массой 1,3 г, что соответствует массе выделенного свинца $1,3 \cdot 207 / 323 = 0,833$ г, где 207 и 323 – атомные массы свинца и хромата свинца соответственно. Поскольку масса внесенного в пробу носителя по свинцу равна $20 \text{ мг/мл} \cdot 50 \text{ мл} = 1000 \text{ мг} = 1 \text{ г}$, то выход р носителя по свинцу составил $0,833 \text{ г} / 1 \text{ г} = 0,833$. Гамма-спектрометрия препарата хромата свинца по гамма-линии 2,615 МэВ таллия-208 проведена на временном интервале от 10 до 15 часов после его выделения. Число зарегистрированных импульсов гамма-линии 2,615 МэВ составило 200. Число зарегистрированных импульсов гамма – линии 2,448 МэВ висмута-214 от источника радия-226 с активностью 1000 Бк при длительности набора 1 час составило 3000. В соответствии с полученными результатами удельная активность тория-228 в анализируемой пробе почвы рассчитывается по формуле (1):

$$A_{Th} = 1000 \cdot \frac{200}{3000} \cdot \frac{0,0155}{0,3589} \cdot \frac{0,065 \cdot 1}{(e^{-0,065 \cdot 10} - e^{-0,065 \cdot 15})} \cdot \frac{1}{0,833 \cdot 0,1} = 15,5 \text{ Бк / кг}$$

Для почв, в которые минеральные удобрения вносились длительное время, наиболее вероятно состояние радиоактивного равновесия в ряду тория-232. В этом случае данный метод позволяет по результату анализа на торий-228 определять удельные активности в почве, в том числе материнского тория-232 и других радионуклидов этого семейства.

Литература

1. Гращенко, С.М. Естественные радионуклиды в пахотных почвах и фосфорсодержащих удобрениях / С.М. Гращенко [и др.] // Госкомитет по использованию атомной энергии СССР. – М. : Атомиздат, 1976. – 29 с.
2. Гладкова, К.Ф. Оценка изменения естественной радиоактивности почв в результате внесения фосфорных удобрений / К.Ф. Гладкова [и др.] // Агротехническая эффективность новых форм минеральных удобрений. Труды НИУМФ, 1983. – Вып. 232. – С. 77–84.
3. Дричко, В.Ф. Частотное распределение концентраций радия-226, тория-228 и калия-40 в различных почвах / В.Ф. Дричко [и др.] // Почвоведение. – 1977. – № 9. – С. 77–84.
4. Шамов, В.П. Нормирование содержания природных радионуклидов в фосфорных удобрениях / В.П. Шамов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2006. – С. 273–280.
5. Прокофьев, О.Н. Радиационно-гигиенические аспекты сельскохозяйственного землепользования / О.Н. Прокофьев, Э.Б. Ершов, О.А. Смирнов // Актуальные вопросы радиационной гигиены. – 2004. – С. 113–114.
6. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / под ред. А.Н. Мареев и А.С. Зыковой. М. : Минздрав СССР, 1980. – С. 173–177.
7. Схемы распада радионуклидов. Энергия и интенсивность излучения. Рекомендации МКРЗ. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – Ч. 2, кн. 2. – С. 226, 314.
8. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / под ред. А.Н. Мареев и А.С. Зыковой. М. : Минздрав СССР, 1980. – С. 275–280.
9. Бергельсон, Б.Р. Справочник по защите от протяженных источников / Б.Р. Бергельсон, Г.А. Зориков. – М. : Атомиздат, 1965. – С. 17, С. 88–101.
10. Схемы распада радионуклидов. Энергия и интенсивность излучения. Рекомендации МКРЗ. ч.2, кн. 2. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – С. 47.
11. Справочник химика. Т 2. – М. : Госхимиздат, 1951.
12. Решение о выдаче патента на изобретение «Способ определения удельной активности радия-226 в почве» от 24.04.2009. Заявка №2008 117762/28(020450).

O.N. Prokofev

The determination of specific ^{228}Th activity in soil

Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev» of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

Abstract. The mineral fertilizers, which have radioactive ^{228}Th , are bring into soil for increase of fertility. Via biological chain soil-plant-man ^{228}Th enter may be incorporated by human. This may lead to additional irradiation of man and to necessity to control specific ^{228}Th activity in soil. The offered method allows to determine specific ^{228}Th activity in soil.

Key words: soil, ^{228}Th , specific activity, gamma-spectrometry, α -radiometry.

Поступила 12.01.2010

О.Н. Прокофьев
Тел: (812) 233-53-63