
РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOECOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 621.039:504.06

ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. И. ЕРОШОВ¹⁾, И. Н. МАРЦУЛЬ²⁾, А. И. АНТОНЕНКОВ²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь

²⁾Белорусский государственный экономический университет,
пр. Партизанский, 26, 220070, Минск, Беларусь

Приведены результаты исследований содержания естественных радионуклидов радия-226, тория-232 и калия-40 в почвах различного гранулометрического состава, некоторых видах продукции растениеводства и строительных материалах. Представлены результаты изучения форм нахождения ЕРН в почвах различного типа, даны расчеты содержания эффективной активности естественных радионуклидов в образцах отдельных строительных материалов.

Ключевые слова: естественные радионуклиды; удельная активность; эффективная активность; постоянные пункты наблюдений; гранулометрический состав.

Образец цитирования:

Ерошов А. И., Марцуль И. Н., Антоненков А. И. Исследования содержания естественных радионуклидов в различных объектах природной среды Республики Беларусь // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 56–61.

For citation:

Eroshov A. I., Martsul I. N., Antonenkov A. I. The analysis of naturally occurring radionuclides in different objects of the environment in the Republic of Belarus. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 56–61 (in Russ.).

Авторы:

Анатолий Иванович Ерошов – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры социально-гуманитарных наук и устойчивого развития.

Иван Николаевич Марцуль – кандидат сельскохозяйственных наук; доцент кафедры физикохимии материалов и производственных технологий.

Александр Иванович Антоненков – кандидат биологических наук; доцент кафедры физикохимии материалов и производственных технологий.

Authors:

Anatol I. Eroshov, doctor of science (biology), professor; professor of the department of social-humanitarian sciences and sustainable development.

An.Eroshov@ISEU.by

Ivan N. Martsul, PhD (agriculture); associate professor of the department of physics of chemistry of materials and production technologies.

kt@bseu.by

Alexandr I. Antonenkov, PhD (biology); associate professor of the department of physics of chemistry of materials and production technologies.

antonenkov_a@bsu.by

THE ANALYSIS OF NATURALLY OCCURRING RADIONUCLIDES IN DIFFERENT OBJECTS OF THE ENVIRONMENT IN THE REPUBLIC OF BELARUS

A. I. EROSHOV^a, I. N. MARTSUL^b, A. I. ANTONENKOV^b

*^aBelarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus*

^bBelarus State Economic University, Partizanski avenue, 26, 220070, Minsk, Belarus

Corresponding author: A. I. Eroshov (An.Eroshov@ISEU.by)

The study analyses naturally occurring Radium-226 and Thorium-232 and Potassium-40 in the soils of various textural content and some crops and materials used in construction. The study reveals in what forms these naturally occurring radionuclides are presented; also the effective activity content for some construction materials has been estimated.

Key words: naturally occurring radionuclides; specific activity; effective activity; permanent observation point; granulometric texture.

Введение

Изучение содержания естественных радионуклидов (ЕРН) связано с тем, что они, имея природное происхождение, могут содержаться в тех или иных количествах во всех природных объектах, а в процессе миграции загрязнять почву и создавать опасность для человека. В настоящее время известно более 230 типов радиоактивных изотопов естественного происхождения, но наиболее распространенными и важными с экологических позиций являются уран-238, тория-232, радий-226, калий-40 и рубидий-87 [1]. Источниками загрязнения объектов окружающей среды ЕРН могут быть природные образования (породы с повышенным содержанием естественных радионуклидов), промышленные предприятия по добыче и переработке некоторых типов природных ископаемых, включая добычу различных солей, а также ГРЭС и ТЭЦ, работающих на угле, горючих сланцах, [1].

В Республике Беларусь в настоящее время складированы сотни миллионов тонн отходов от производства калийных солей и фосфорных удобрений (Гомель, Солигорск). Поступление ЕРН в почву также связано и с применением минеральных удобрений. Калийные удобрения являются источником поступления калия-40, на долю которого приходится около 0,012 % от всего количества калия. Фосфорные удобрения, в зависимости от технологии переработки фосфоритов, могут содержать значительные количества урана-238, тория-232, радия-226. Извлекаемые в больших количествах на земную поверхность ЕРН рассеиваются и включаются в биологические цепи. Концентрация этих радионуклидов в фосфорных удобрениях из разных стран может находиться в пределах от 70,0 до 2400,0 Бк/кг [2].

Одними из основных источников поступления ЕРН в организм человека являются продукты питания. Характер и уровень содержания радионуклидов в продуктах питания зависит от многих факторов (от количества их содержания в почве, доступности их растениям, свойств почвы и др.) [3]. Поэтому для обеспечения безопасности человека важно знать, где и в каких объектах могут присутствовать радиоактивные источники излучения и как можно снизить их опасность. В данном материале проведено обобщение и дополнение работ, приведенных в виде тезисов, опубликованных в материалах Международных конференций [4].

Материалы и методы исследования

Для изучения содержания ЕРН в почве в 2014 г. были заложены пункты постоянных наблюдений (ППН) для разных по гранулометрическому составу дерново-подзолистых почв в Солигорском р-не: возле д. Чепели легкосуглинистые почвы (ППН № 1 и № 2) и возле д. Млынка, где супесчаная почва (ППН № 3).

Изучение содержания естественных радионуклидов калия-40, радия-226 и тория-232 проводилось путем отбора почвенных проб на всех ППН с пахотного и нижележащих горизонтов почвенного профиля (2014–2015 гг.). Определение содержания ЕРН выполняли в радиометрической лаборатории кафедры безопасности жизнедеятельности и курортологии с использованием гамма-радиометра спектрометрического типа РКГ-АТ1320 в соответствии с методикой измерений (МВИ. МН 1823-2007). Для проведения исследований по определению эффективной активности естественных радионуклидов в строительных материалах были отобраны пробы различных видов облицовочной керамической плитки, щебня

и гравия, которые использовались для различных целей при строительстве жилых домов в г. Минске. Для контроля воды были отобраны пробы из различных источников.

Исследование содержания естественных радионуклидов калия-40, радия-226 и тория-232 проводилось также и в пробах дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава, отобранных из разных горизонтов почвенных разрезов песчаной и суглинистой почв Воложинского р-на (д. Турковщина).

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные в 2014 и 2015 годах результаты не выявили существенных различий содержания ЕРН по годам исследований (табл.). На всех трех ППН больше всего в гумусовом горизонте содержалось калия-40 – от 213,0 на легкой почве (ППН № 3) до 623,0 Бк/кг на ППН № 1. При этом на почвах более связного гранулометрического состава удельная активность калия-40 была почти в три раза выше, чем на супесчаной.

Таблица

Удельная активность почвы, Бк/кг (среднее за 2 года)

Table

Soils specific activity, Bq/kg (average over 2 years)

Радионуклид Тип почвы	Калий- 40	Радий-226	Торий-232
ППН № 1			
Гумусовый	623,0	23,0	9,0
Подзолисто-иллювиальный	660,0	26,0	7,0
Иллювиальный	815,0	35,0	8,0
ППН № 2			
Гумусовый	590,0	29,0	8,0
Подзолисто-иллювиальный	595,0	28,0	8,0
Иллювиальный	611,0	44,0	7,0
ППН № 3			
Гумусовый	213,0	15,0	8,0
Подзолисто-иллювиальный	281,0	16,0	7,0
Иллювиальный	344,0	15,0	8,0

С увеличением глубины отбора почвенных проб по профилю разреза активность радиоактивного калия увеличивалась на всех пунктах наблюдения на 110,0–190,0 Бк/кг.

Содержание радия-226 и тория-232 в верхних гумусовых горизонтах ППН № 1 и № 2 было практически одинаковым и находилось в пределах 23,0–29,0 Бк/кг почвы. И только на легкой почве (ППН № 3) активность радия-226 была почти в два раза меньше – 15,0 Бк/кг, а тория-232 составила только до 8,0–9,0 Бк/кг, что менее нижнего уровня чувствительности прибора. В нижележащих горизонтах (подзолисто-иллювиальном и иллювиальном) удельная активность этих радиоактивных элементов незначительно увеличивалась и достигала значения до 35,0–44,0 Бк/кг, а на легкой почве (ППН № 3) оставалась практически на одном и том же уровне.

Ранее проводились исследования [4] содержания естественных радионуклидов калия-40, радия-226 и тория-232 в пробах дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава, отобранных из разных горизонтов почвенных разрезов песчаной и суглинистой почв Воложинского р-на (д. Турковщина). Установлено, что в почвах разного гранулометрического состава больше всего содержится калия-40 – до 685,0 Бк/кг. С увеличением глубины отбора проб его количество значительно увеличивается и особенно в легкой почве. Так, в гумусовом горизонте супесчаной почвы удельная активность была 431,0 Бк/кг, в иллювиальном – 566,0 Бк/кг, а для легкосуглинистой почвы составила с 570,0 до 642,0 Бк/кг.

Содержание радия-226 и тория-232 в гумусовых горизонтах обеих почв было практически одинаковым и находилось в пределах 24,0–28,0 Бк/кг. В нижележащих горизонтах (подзолисто-иллювиальном и иллювиальном) удельная активность этих радиоактивных элементов увеличивалась незначительно и составляла 35,0–40,0 Бк/кг. Можно предположить, что увеличение содержания всех естественных

радионуклидов в нижних горизонтах почвенного разреза связано с вертикальной многолетней миграцией их водорастворимых форм. Для выяснения предположения был проведен эксперимент, в котором легкосуглинистая почва верхнего гумусового горизонта промывалась дистиллированной водой, полагая, что водорастворимые формы радионуклидов будут вымываться и, следовательно, могут мигрировать вертикально по профилю почвы. Однако это предположение не подтвердилось для радия-226 и тория-232: до и после промывания удельная активность была практически одинаковой и для радия составляла 20,1 и 19,8, а тория 27,8 и 25,4 Бк/кг соответственно. В то же время содержание калия-40 уменьшилось с 570,0 до 447,0 Бк/кг, что позволяет заключить, что доля водорастворимых форм калия выше, а значит и доступность его растениям также больше. Радий-226 и торий-232 прочно связаны с почвой и, следовательно, меньше могут использоваться растениями. Об этом свидетельствуют результаты измерения содержания ЕРН в зеленой массе многолетних трав и соломе зерновых культур, где удельная активность радия-226 составляла 7,0–12,0, а тория-232 от 5,0 до 11,0 Бк/кг соответственно, в то время как калия-40 было почти на порядок выше и составляло для соломы 154,0, а для многолетних трав 130,0 Бк/кг.

Степень опасности любых радионуклидов зависит не только от их общего содержания, но и от их подвижности в почве. От форм нахождения радионуклидов в почве зависит их миграция по почвенному профилю, а также размеры вымывания с осадками, интенсивность поступления в растения. Чем прочнее связаны радионуклиды с почвой, тем меньше их миграция, в том числе и поступление в растения и далее в продукцию животноводства и в организм человека. Для оценки прочности связи естественных радионуклидов (калия-40, радия – 226 и тория -232) с почвой определяли относительное содержание различных форм методом последовательного экстрагирования: определение их активности после вытеснения из почвы водой и слабой кислотой.

Исследования проводили с образцами дерново-подзолистой легкосуглинистой и песчаной почв, отобранных с пахотных угодий сельхозпредприятий Минского р-на. В образцах гумусового горизонта дерново-подзолистых почв больше была активность калия-40: в легкосуглинистой 570,0, а в песчаной 431,0 Бк/кг. Содержание радия-226 и тория-232 в гумусовых горизонтах почв разного гранулометрического состава было практически одинаковым и находилось в пределах 15,0–28,0 Бк/кг.

В исследованиях [4] предполагалось, что увеличение содержания ЕРН в нижележащих по профилю горизонтах связано с вертикальной многолетней миграцией и прежде всего за счет водорастворимых форм. Проведенные исследования не подтвердили и это предположение. Для изучаемых дерново-подзолистых почв характерно вымывание водой незначительной доли радия-226 и тория-232 – до 0,3–0,5 % от общего содержания, а по калию-40 чуть выше – до 0,8–1,2 %.

Известно, что для растений при определенных условиях резервом питания могут служить элементы, извлекаемые из почвы соляной кислотой. Этот кислоторастворимый резерв по калию-40 в проведенных исследованиях достигал 6–8, а радия-226 и тория-232 до 2–4 %.

Таким образом, основная доля радиоактивных калия, радия и тория находится в прочно связанной форме и, вероятнее всего, в кристаллической решетке глинистых минералов. Существенных различий в содержании ЕРН в неоднородных по гранулометрическому составу почв не выявлено. Активность и доля водо- и кислоторастворимых форм калия-40 выше, чем радия и тория, а значит и доступность его растениям большая. Радий и торий в исследуемых образцах почв находятся в меньших количествах, более прочно связаны с почвой и поэтому меньше могут использоваться корневыми системами растений. Это подтверждают результаты замеров ЕРН в вегетативной массе различных сельскохозяйственных культур.

Продукты питания являются одним из основных источников поступления естественных радионуклидов из семейств урана и тори в организм человека. Наряду с постоянно находящимися в почве, естественные радионуклиды могут поступать в окружающую среду также из отходов предприятий горнодобывающей промышленности, электростанций, работающих на минеральном топливе, с фосфорными и калийными удобрениями, используемыми в сельском хозяйстве. Путь радионуклидов до организма человека может быть разным, но наиболее вероятной является цепь «почва–растение–животное–человек». Подвижность радионуклидов в биоценозах зависит от их физико-химических свойств, условий внешней среды и биологических особенностей растений и животных. И если по миграции искусственных радионуклидов опубликовано много данных, то по естественным для Республики Беларусь результатов исследований очень мало. Поэтому нами проводилось изучение содержания радия-226 и тория-232 в различных почвах, а также их переход в некоторые сельскохозяйственные культуры.

Проведенными исследованиями выявлено, что большей удельной активностью характеризуются дерново-подзолистые почвы разного гранулометрического состава, содержание радия-226 в которых составляло 24,0–58,0 Бк/кг, а тория-232 – 15,0–35,0 Бк/кг. В образцах торфяно-болотных почв удельная

активность этих элементов находилась в пределах чувствительности прибора и не превышала 8,0–17,0 Бк/кг.

Поступление естественных радионуклидов из почвы в растения зависит от их концентрации в почве и видовых особенностей возделываемых культур. С возрастанием их содержания в почве увеличивается и накопление в хозяйственно ценной части урожая. Большим загрязнением характеризовалась зеленая масса многолетних трав и соломы зерновых культур, где удельная активность радия-226 составляла 7,0–22,0 Бк/кг, а тория-232 – 5,0–11,0 Бк/кг (что ниже нижней границы чувствительности прибора), а наименьшим – зерна ржи и ячменя – до 10,0 Бк/кг. Переход тяжелых естественных радионуклидов в растения составляет доли процента от их содержания в почве. Это также указывает на то, что основная часть радия и тория в почве находится в прочно связанной недоступной форме и не представляет серьезной опасности для загрязнения растений корневым путем. Вывод о невысокой опасности радия-226 и тория-232 для человека подтверждают результаты контроля цельного молока, где их активность не превышала нижней границы диапазона измерения прибора.

Естественные радионуклиды, имеющие природное происхождение, присутствуют в тех или иных количествах в большинстве объектов окружающей среды. В организм человека большинство из них поступают через органы дыхания или пищеварения, создавая угрозу здоровью. Согласно оценке НКДАР ООН (1994 г.), наибольший вклад (70 %) в суммарную эффективную дозу облучения населения вносит как раз естественный радиационный фон. Средняя доза внутреннего облучения за счет радионуклидов земного происхождения составляет около 1,35 мЗв в год. Источниками радиоактивных излучений могут быть строительные материалы, почва, артезианская вода и другие объекты природной среды. Наибольшую угрозу для человека представляют изотопы калия-40, радия-226 и тория-232.

Следует отметить, что опасность для человека представляют не только уран-238 и торий-232, но и их дочерние продукты распада – радон и торон. Являясь радиоактивными газами на определенной стадии распада, они могут распределяться в пространстве и попадать через органы дыхания в организм человека, создавая угрозу его здоровью. По мировым оценкам радон является причиной многих тысяч смертей в год. Вдыхая воздух с высоким содержанием радона, человек рискует получить рак легких. Врачи предупреждают, что радон на сегодняшний день является основной (после курения) причиной развития рака легких во всех странах. Поэтому в проведенных исследованиях была поставлена задача исследовать некоторые строительные материалы, используемые в строительстве или при отделке жилых помещений на содержание в них ЕРН и рассчитать эффективную активность естественных радионуклидов (Аэфф.).

Эффективная удельная активность природных радионуклидов в строительных материалах, добываемых на месторождениях или являющихся побочным продуктом промышленности, не должна превышать: для материалов, используемых в строящихся и реконструируемых общественных зданиях и жилых помещениях (1 класс) – менее 370,0 Бк/кг; для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах территорий населенных пунктов (2 класс) – менее 740,0 Бк/кг; для материалов, используемых в дорожном строительстве вне населенных пунктов (3 класс) – менее 1500,0 Бк/кг. При Аэфф более 1500,0 Бк/кг (4 класс) вопрос об использовании таких материалов решается в каждом случае отдельно по согласованию с органами госнадзора.

Для проведения исследований на строительных площадках были отобраны пробы различных видов облицовочной керамической плитки, щебня и гравия, которые использовали для различных целей при строительстве жилых домов в г. Минске, а также опытный образец воды из различных источников. Наряду с измерением удельной активности ЕРН определяли и важнейший радиационный показатель характеристики строительных материалов – Аэфф. Для расчета использовали измеренные значения удельной активности калия-40, радия-226 и тория-232. Аэфф – это суммарная удельная активность ЕРН в материалах, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека. Этот показатель рассчитывали по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31 \cdot A_{Th} + 0,085 \cdot A_K,$$

где A_{Ra} , A_{Th} , A_K – удельные активности радия, тория и калия в Бк/кг.

При проведении исследований было обнаружено, что по рассчитанным значениям Аэфф ЕРН наибольшими величинами отличались все проанализированные пробы керамической плитки – 137,0 Бк/кг (при норме 370 Бк/кг в соответствии с НРБ-2000). Это, прежде всего, связано с высокой удельной активностью калия-40, содержание которого в среднем 510,0 Бк/кг, а также с присутствием в больших количествах, чем в других материалах, радия-226 и тория-232, удельная активность которых соответственно была 57,0–79,0 и 28,0–36,0 Бк/кг. Существенно ниже Аэфф ЕРН было в образцах щебня и гравия – 44,0 и 62,0 Бк/кг, активность тория и радия была приблизительно одинаковой и не превышала 10,0–15,0 Бк/кг. Можно отметить относительно высокое содержание калия-40, характерное для

всех проконтролированных проб, которое составляло от 280,0 до 510,0 Бк/кг. Содержание естественных радионуклидов в пробах артезианской воды оказалось ниже минимальных измеряемых прибором значений – калия-40 – менее 50,0, радия-226 и тория 232 – менее 10 Бк/л. Из приведенных выше данных следует, что по Аэфф ЕРН все изученные материалы не превышают допустимых значений и могут быть использованы без ограничений для любых строительных нужд.

Заключение

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что естественные радионуклиды присутствуют практически во всех изучаемых объектах природной среды. Как в почве, так и в строительных материалах и продукции растениеводства больше содержится калия-40, а менее всего тория-232. По почвенному профилю содержание радиоактивного калия несколько увеличивается, тогда как радий имеет тенденцию роста, а количество тория-232 остается практически одинаковым. Основная доля исследованных ЕРН находится в прочносвязанной форме, поэтому переход их в продукцию растениеводства незначительный. Эффективная активность строительных материалов не превышала допустимых значений и зависела от присутствия калия-40.

Библиографические ссылки

1. Архипов Н. П., Тюменцева Л. М., Февралева Л. Т. и др. Поведение естественных радионуклидов техногенного происхождения в почвах // Экология. 1982. Т. 1. С. 31.
2. Рачкова Н. Г., Шуктомова И. И., Таскаев А. И. Состояние в почвах естественных радионуклидов урана, радия и тория // Почвоведение. 2010. Т. 6. С. 348.
3. Искра А. А., Бахуров В. Г. Естественные радионуклиды в биосфере. М., 1981. С. 123.
4. Ерошов А. И., Марицль И. Н., Антоненков А. И. Содержание естественных радионуклидов в различных почвах // Сахаровские чтения: экологические проблемы 21 века: материалы 13 междунар. науч. конф. Минск, 2013. С. 168–169

References

1. Arkhipov N. P., Tumentseva L. M., Fevrleva L. T., et al. [Natural man-made radionuclides behaviour in soils]. *Ecology*. 1982. Vol. 1. P. 31 (in Russ.).
2. Rachkova N. G., Shuktomova I. I., Taskaev A. I. [State of natural radionuclides of uranium, radium and thorium in soils]. *Edaphology*. 2010. Vol. 6. P. 348 (in Russ.).
3. Iskra A. A., Bakhurov V. G. [Natural radionuclides in biosphere]. Moscow, 1981. P. 123 (in Russ.).
4. Eroshov A. I., Martsul I. N., Antonenkov A. I. [The content of natural radionuclides in different soils]. *Sakharov readings: ecological problems of 21st century: materials of 13th International scientific conference*. 2013. P. 168–169 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 26.06.2018
Received by editorial board 26.06.2018