

УДК 550.424

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИГРАЦИИ ^{232}Th И ^{226}Ra В ПОЧВАХ ГОРОДА АРХАНГЕЛЬСКА

© 2013 г. В. В. Крячюнас, Е. В. Шахова

Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск

Естественные радионуклиды ^{232}Th и ^{226}Ra — природные источники ионизирующего излучения, формирующие радиационный фон. Детальное выяснение специфики распределения естественных радионуклидов на территории города позволяет прогнозировать дальнейшую миграцию этих радионуклидов и оценить темп естественного самоочищения территории под влиянием природных физико-химических и биотрансформационных процессов [17].

Актуальность настоящей работы прежде всего продиктована близостью объектов атомного промышленного комплекса и отсутствием полной и достоверной научной информации по радиоактивности в городе Архангельске. Информационный вакуум по тематике приводит к росту социального напряжения в обществе. Объективная оценка радиационной обстановки на территории в случае возникновения аварийной ситуации невозможна без учета фоновых уровней радиационных параметров на конкретной территории [1]. Поэтому в процессе исследования следует обращать внимание не только на аномальные значения удельной активности естественных радионуклидов, но и на значения, входящие в реперентный интервал.

Кроме того, важность исследования пространственного распределения ^{232}Th и ^{226}Ra в городских почвах обусловлена тем, что одним из продуктов распада ториевого ряда является радон ^{222}Rn — тяжелый инертный газ. Радон по классификации Международного агентства по изучению рака относится к числу доказанных канцерогенов для человека (1-я группа канцерогенных агентов) [3]. Вдыхание воздуха, содержащего радон и продукты его распада, приводит к воздействию излучения, в основном за счет альфа-частиц, преимущественно на клетки бронхиального эпителия [6]. Имеются сведения, подтверждающие увеличение риска развития рака легких в результате воздействия радона [5]. Согласно работе [12], территория города Архангельска не является радоноопасной, однако геологическое строение района исследования не исключает локальных участков радоносодержания и радоновыделения.

Цель исследования — установить основные факторы, оказывающие влияние на пространственное распределение ^{232}Th и ^{226}Ra на территории города Архангельска.

Методы

Район, объект и предмет исследования. В геоморфологическом плане центральная часть города представлена отложениями осташковской морены, которые выходят на поверхность двумя узкими грядами в центре города. Верхний горизонт морены представлен коричневыми суглинками, содержащими от 5 до 10 % гравия и гальки, с линзами песка незначительной мощности. Суглинки нижнего горизонта темно-

Установлены основные закономерности пространственной миграции естественных радионуклидов ^{232}Th и ^{226}Ra в почвенном покрове города Архангельска. К основным факторам, оказывающим влияние на пространственное распределение естественных радионуклидов, можно отнести: тип застройки, геолого-геоморфологическое строение территории, существующий в почве водный режим.

Ключевые слова: радионуклиды, миграция радионуклидов, тип застройки, урбаноземы, реплантоземы, водный режим почв



1 – урбаноземы на культурном слое мощностью от 0,3 до 5,5 м, подстилаемом мореной; 2 – урбаноземы на торфе, мощность культурного слоя до 3,7 м; 3 – урбаноземы разной мощности (от 0,2 до 2,0 м) на слабо и среднеразложившемся торфе; 4 – реплантоземы на песке; 5 – место отбора почвенного образца, $^{226}\text{Ra}/^{232}\text{Th}$

Рис. 1. Карта-схема распределения удельной активности естественных радионуклидов в грунтах (в основу положены карты [7, 9])

серого цвета с включениями гравия и гальки до 3–5 % содержат ракушечный детрит и раковины фораминифер. Мощность верхнего горизонта колеблется от 2 до 10 м, нижнего – от 2 до 5 м, реже до 10 м. Указанные горизонты разделены слоем, не имеющим признаков морены, – серовато-коричневым суглинком без крупнообломочных включений. Остальную территорию занимают болотные равнины, которые сформировались при зарастании больших озерных водоемов, разделяющих моренные холмы. Литогенная основа таких болот характеризуется наличием мощной толщи, от 1 до 12 м, торфяных отложений. Глубина залегания грунтовых вод менее 1 м [10]. На большей части площади рассматриваемой территории распространены насыпные грунты, представленные преимущественно намывными песками. Песок был накачан с реки средствами гидромеханизации. Смесь песка с водой, называемая пульпой, перекачивалась по трубам на несколько километров. Вода по каналам отводилась обратно в реку, а частицы песка оседали, так сформировался слой техногенных отложений мощностью 1–4 м [8].

Основными объектами исследования являлись городские почвы: урбаноземы и реплантоземы, которые наиболее часто встречаются на территории центральной части города Архангельска (Октябрь-

ский, Ломоносовский районы). Почвообразование в районе исследования тесно связано с хозяйственной деятельностью человека и конкретным сочетанием природных факторов почвообразования. Ряд авторов [9, 11] относят почвы в исторической части города Архангельска к типичным урбаноземам, а почвы во дворах новостроек, созданные путем смешивания торфа с песком при обустройстве территории, – к реплантоземам.

Предметом исследования являлась пространственная миграция ^{232}Th и ^{226}Ra в почвах центральной части города Архангельска (рис. 1).

Аппаратура и методика исследований. В работе применялись инструментальный метод исследования (метод регистрации ионизирующего излучения), математико-статистический метод анализа данных в исследованиях и метод визуализации данных (графики).

В каждом квартале города отбирались точечные пробы из верхнего слоя почвы мощностью 5 см вместе с растительностью методом «конверта» – из точек контролируемого участка берут пять образцов почвы. Точки должны быть расположены так, чтобы, мысленно соединенные прямыми линиями, давали рисунок запечатанного конверта. Из каждой точки отбирают около 1 кг почвы. Первичные пробы рассыпают на брезенте или листе фанеры, перемешивают

и берут объединенную среднюю пробу всего участка, которую высушивают при комнатной температуре в течение 20–45 дней в специально отведенной комнате. Отбор, хранение и транспортировка проб почв осуществлялись в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02–84 [4]. После этого пробу измельчают, засыпают в сосуд Маринелли и взвешивают на электронных весах типа ВЛЭ-1500 с точностью измерения 1 г. Для определения удельной активности ^{232}Th и ^{226}Ra почвенный образец помещался в гамма-спектрометр «Прогресс» (погрешность измерения прибора не более 30 %). Методика определения активности гамма-излучающих радионуклидов в счетных образцах основана на регистрации сцинтилляционных спектров гамма-излучения, испускаемого веществом счетного образца, с последующей обработкой на ПЭВМ.

Результаты

При отборе почв отмечено, что высокая степень загрязнения почвы строительным мусором наблюдается в кварталах с каменной застройкой, а меньше всего строительного мусора фиксируется в почвах в кварталах с деревянной застройкой. Измерения 105 почвенных образцов на гамма-спектрометре «Прогресс» показали, что удельная активность ^{232}Th и ^{226}Ra в почве растет в следующем порядке: кварталы с деревянной застройкой → кварталы с каменной застройкой.

В связи с этим нами было выполнено более детальное изучение радиоактивности почв в кварталах с каменной застройкой. Здесь распространены два типа почв – урбаноземы (историческая часть города) и реплантоземы (новостройки) [9]. Было установлено, что реплантоземы характеризуются относительно более низкой удельной активностью ^{226}Ra и ^{232}Th по сравнению с урбаноземами в исторической части города (рис. 2).

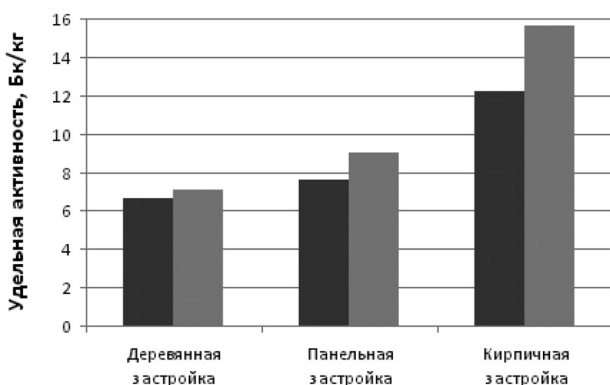


Рис. 2. Распределение (по типу застройки) средней удельной активности ^{226}Ra (темный) и ^{232}Th (светлый) в почвах

При анализе распределения средней удельной активности рассматриваемых радионуклидов в зависимости от геологического и геоморфологического строения было установлено, что относительно высокие значения удельной активности ^{232}Th и ^{226}Ra зафиксированы в урбаноземах, расположенных на морене (рис. 3).

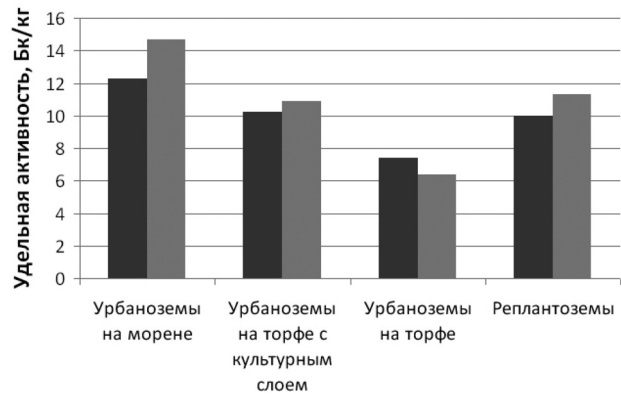


Рис. 3. Распределение средней удельной активности ^{226}Ra (темный) и ^{232}Th (светлый) в почвах и грунтах г. Архангельска

Низкие средние удельные значения ^{232}Th и ^{226}Ra зафиксированы в урбаноземах на торфе, что связано с высокой скоростью миграции естественных радионуклидов в данных почвах. Отличительной чертой является то, что в торфяных почвах отношение $^{232}\text{Th}/^{226}\text{Ra} \leq 1$, что указывает на различие форм миграции радия и тория [2].

Обсуждение результатов

Поведение радионуклидов в почве регулируется процессами образования миграционных форм и их изменения, приводящего к потере геохимической подвижности. Миграция радионуклидов в городских почвах зависит от ряда факторов. К первой группе факторов относится антропогенное влияние. Так, на пространственную миграцию естественных радионуклидов на территории города существенное воздействие оказывает тип застройки, который преобладает в том или ином квартале.

В процессе строительства происходит захламление почвы строительным мусором (осколки кирпича, бетона, цемента и др.). Как мы предполагаем, более низкая удельная активность ^{232}Th и ^{226}Ra в реплантоземах по сравнению с урбаноземами в исторической части города (см. рис. 2) также связана с типом застройки. Так, в исторической части города в основном преобладают кирпичные дома, при строительстве которых в почву попадает большее количество строительного мусора (в том числе осколки кирпича, остатки песчано-цементного раствора и др.), чем при панельном типе застройки. Кроме того, низкая активность естественных радионуклидов в реплантоземах связана с изменением технологии нулевого цикла строительства новостроек, когда после экскавации грунт с повышенным содержанием естественных радионуклидов вывозится на свалку, в результате чего происходит минимальное загрязнение почвы.

Наличие в почве различного строительного мусора предопределяет химические свойства почвы. Являясь изотопами химических элементов, радионуклиды характеризуются теми же свойствами, что и стабильные изотопы этих элементов. По литературным данным [13], для ^{226}Ra характерно соосаждение в почве совместно

с кальцием и карбонатами. Повышенное содержание кальция в урбаноземах на морене (историческая часть города) обусловлено поступлением его вместе с пылью, содержащей карбонаты кальция и магния, с использованием извести в строительном растворе, который хорошо выветривается, высвобождая кальций в почву. Кальций высвобождается также под действием кислотных осадков из различных обломков строительного мусора, цемента, кирпича и прочего, а под действием осадков, обогащенных растворенной углекислотой, в почвах образуются гидрокарбонаты, которые способны изменять реакцию среды почвенного раствора в щелочную сторону. По некоторым данным [14], валовое содержание кальция в урбаноземах на морене составляет 129,8–193,4 мг/кг, что в два раза выше, чем в естественных почвах. Данные факты способствуют аккумуляции радия в верхнем слое почв, то есть снижению его миграции в нижние горизонты.

Высокое усредненное удельное значение ^{232}Th в урбаноземах на морене в исторической части города связано с повышенным содержанием нитратов [14], хлоритов, сульфатов, карбонатов, щелочных металлов, с которыми торий легко вступает в химические реакции, в результате чего образуются двойные соли $\text{K}_2[\text{Th}(\text{NO}_3)_6]$ и $\text{Na}_2[\text{Th}(\text{SO}_4)_3]$, а также смешанные оксиды K_2ThO_3 . Кроме того, накоплению тория в урбаноземах на морене способствует выведения тория из жидкой фазы путем осаждения $\text{Th}(\text{OH})_4$ или гидратированного оксида. Осаждение гидроксида тория происходит в процессе воздействия щелочей на растворы солей тория: $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 + 4\text{NaOH} \rightarrow \text{Th}(\text{OH})_4 \downarrow + 4\text{NaNO}_3$, что подтверждается работой [15].

Таким образом, наиболее высокая средняя активность ^{232}Th и ^{226}Ra в верхнем слое почвы города Архангельска отмечается в районах с каменной застройкой, что связано с внешним поступлением естественных радионуклидов в почву вместе со строительными материалами (см. рис. 2).

К природным факторам, регулирующим поведение естественных радионуклидов в почве, относится геолого-геоморфологическое строение территории исследования. Приблизительно 25 % площади центральной части города Архангельска занимает моренная Валдайская возвышенность, литогенная основа которой препятствует миграции естественных радионуклидов по профилю почвы. Этим объясняются высокие значения удельной активности ^{232}Th и ^{226}Ra в урбаноземах на морене (см. рис. 3) по сравнению с другими типами почв. Такое поведение естественных радионуклидов объясняется пластинчатым строением глинистых минералов, которое определяет наличие на поверхности их частиц сорбционных центров двух основных типов: на базальных поверхностях, где осуществляется ионообменное взаимодействие с образованием внешнесферных комплексов, и на боковых гранях с образованием прочных внутрисферных комплексов [16].

Остальные 75 % площади центральной части города занимают болота. На торфяных залежах искусственно созданы два типа почв: урбаноземы разной мощности (в зависимости от типа застройки) и молодые почвы

– реплантоземы на песке [7, 9]. Водно-физические свойства почвы оказывают существенное влияние на миграцию радионуклидов. В отличие от урбаноземов на морене урбаноземы на торфе и реплантоземы отличаются хорошими коллекторными свойствами почвы. Урбаноземы на торфе характеризуются низкой объемной массой (от 0,6 г/м³), высокой порозностью аэрации (до 55 %), имеют высокое содержание водорастворимых органических веществ, которые окисляют почвенную среду и изменяют коллекторные свойства почвы, ингибируя сорбцию ^{232}Th и ^{226}Ra почвенными частицами, способствуя их активной миграции, чем и объясняются низкие средние удельные значения ^{232}Th и ^{226}Ra в этих почвах (см. рис. 3). Реплантоземы, созданные путем перемешивания торфа с песком, также отличаются высоким содержанием органики и низким водородным показателем, что способствует высокому транспорту ^{232}Th и ^{226}Ra вместе со свободной водой в нижележащие горизонты.

Таким образом, путем анализа распределения естественных радионуклидов ^{232}Th и ^{226}Ra в городских почвах установлена взаимосвязь пространственной миграции радионуклидов с типом городских почв и типом застройки. Полученные результаты имеют социальное и экологическое значение, так как позволяют прогнозировать дальнейшую миграцию данных радионуклидов под влиянием природных и антропогенных процессов.

Список литературы

1. Алексахин Р. М., Архипов Н. П., Бархударов Р. М. и др. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы. М.: Наука, 1990. 368 с.
2. Анохин А. Б., Ламакина Н. В. Распределение радионуклидов в ландшафтах Белорусского Полесья // Принципы и методы ландшафтно-геохимических исследований миграции радионуклидов: тезисы докладов Всесоюзного совещания, г. Суздаль, 13–17 ноября 1989 г. М., 1989. С. 18.
3. Белицкий Г. А. Химический канцерогенез // Профилактика, ранняя диагностика и лечение злокачественных новообразований / под общ. редакцией М. И. Давыдова. М.: Изд. группа РОНЦ, 2005. С. 76–82.
4. ГОСТ 17.44.02–84. «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки почв для химического, бактериологического, гельминтологического анализа». URL: <http://tehnorma.ru/normativbase/8/8936/index.htm> (дата обращения 18.02.2013).
5. Европейские рекомендации по борьбе против рака и их научное обоснование. Третья версия. М.: Изд. группа ГУ РОНЦ им. Н. Н. Блохина РАМН, 2005. С. 23–24.
6. Карпин В. А., Кострюкова Н. К., Гудков А. Б. Радиационное воздействие на человека радона и его дочерних продуктов распада // Гигиена и санитария, 2005. № 4. С. 13–17.
7. Карта распространения торфа и насыпных грунтов // К сводному отчету по инженерно-геологической съемке м-ба 1:10000 территории г. Архангельска за 1971–1972 гг. М.: Министерство геологии РСФСР, 1970, 5 л.
8. Марданова Д. Р. Ландшафтно-урбанистическое районирование территории города Архангельска // География Европейского Севера. Проблемы природопользования, социально-экономические, экологические: сб. науч. тр. Архангельск, 2002. С. 234–243.
9. Наквасина Е. Н., Пермогорская Ю. М., Попова Л. Ф.

Почвы Архангельска. Структурно-функциональные особенности, свойства, экологическая оценка. Архангельск : Изд-во АГТУ, 2006. 124 с.

10. Невзоров А. Л. Особенности взаимодействия техносферы и геологической среды Архангельска // Поморье в Баренц регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура : материалы Междунар. конф. Архангельск, 2000. С. 164–165.

11. Пермогорская Ю. М., Сметанина Т. В. Разнообразие, состояние и свойства почв города Архангельска // Экология 2003 : материалы молодеж. межд. конф. Архангельск : ИЭПС УрО РАН, 2003. С. 62–63.

12. Пучков А. В., Киселев Г. П. Оценка количественных показателей объемной активности радона-222 на территории Архангельской промышленной агломерации // Экология человека. 2011. № 9. С. 19–23.

13. Рачкова Н. Г., Шуктомова И. Л. Сорбция как один из ведущих процессов, регулирующих подвижность урана, радия и тория // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2006. № 7. С. 4–11.

14. Репницына О. Н., Попова Л. Ф. Трансформация подвижных форм меди в сезоннопромерзающих почвах города Архангельска // Арктика и Север. 2012. № 9. С. 1–15.

15. Ames L. L., Rai D. Radionuclide interactions with soil and rock media // U. S. Environmental Protection Agency; Office of radiation programs report EPA 520/6-78-007A. N.-Y., 1978. Vol. 1. 327 p.

16. Sposito G. The surface chemistry of soils. N.-Y. : Oxford Univ. Press, 1984. 245 p.

17. Subsurface Contaminant Focus Area: Monitored Natural Attenuation (MNA)-Programmatic, Technical, and Regulatory Issues / Eds. Krupka K. M., Martin W. J. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, PNNL-13 569, 2001. 138 p.

References

1. Aleksakhin R. M., Arkhipov N. P., Barkhudarov R. M. i dr. *Tyazhelye estestvennye radionuklidy v biosfere: migratsiya i biologicheskoe deistvie na populyatsii i biogeotsenozy* [Heavy natural radionuclides in biosphere: migration and biological effect on populations and biogeocenoses]. Moscow, 1990, 368 p. [in Russian]

2. Anokhin A. B., Lamakina N. V. *Printsipy i metody landshaftno-geokhimicheskikh issledovaniy migratsii radionuklidov. Tezisy dokladov Vsesoyuznogo soveshchaniya, g. Suzdal'* [Principles and methods of landscape-geochemical research of radionuclides migration. Report abstracts of All-Russian meeting, Suzdal, 13-17 November 1989]. Moscow, 1989, p. 18. [in Russian]

3. Belitskii G. A. *Profilaktika, rannyyaya diagnostika i lechenie zlokachestvennykh novoobrazovaniy* [Prevention, early diagnosis and treatment of malignant neoplasms], ed. M. I. Davydov. Moscow, 2005, pp. 76-82. [in Russian]

4. GOST 17.44.02–84. «Okhrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki pochv dlya khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza» [State Standard 17.44.02–84. «Environmental protection. Soils. Methods for selection and preparation of soils for chemical, bacteriological, helminth analysis]. URL: <http://tehnorma.ru/normativbase/8/8936/index.htm> (accessed 18 Feb. 2013). [in Russian]

5. *Evropeiskie rekomendatsii po bor'be protiv raka i ikh nauchnoe obosnovanie. Tret'ya versiya* [European recommendations for fight against cancer and their scientific rationale. Third version]. Moscow, 2005, pp. 23-24. [in Russian]

6. Karpin V. A., Kostryukova N. K., Gudkov A. B. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation]. 2005, no. 4, pp. 13-17. [in Russian]

7. *Karta rasprostraneniya torfa i nasypanykh gruntov.*

K svodnomu otchetu po inzhenerno-geologicheskoi s"emke m-ba 1:10000 territorii g. Arkhangel'ska za 1971-1972 gg. [Map of extension of peat and man-made lands. General report for engineering-geological surveying with scale 1:10000 of Arkhangelsk territory in 1971-1972] Moscow, 1970, 5 p. [in Russian]

8. Mardanova D. R. *Geografiya Evropeiskogo Severa. Problemy prirodnopol'zovaniya, sotsial'no-ekonomicheskie, ekologicheskije. Sbornik nauchnykh trudov* [Geography of European North. Problems of natural resource use, social-economic, ecological problems. Collection of scientific papers]. Arkhangelsk, 2002, pp. 234-243. [in Russian]

9. Nakvasina E. N., Permogorskaya Yu. M., Popova L. F. *Pochvy Arkhangel'ska. Strukturno-funktsional'nye osobennosti, svoistva, ekologicheskaya otsenka* [Arkhangelsk soils. Structural-functional features, properties, ecological assessment]. Arkhangelsk, 2006, 124 p. [in Russian]

10. Nevzorov A. L. *Pomor'e v Barents regione na rubezhe vekov: ekologiya, ekonomika, kul'tura. Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii* [Pomorje in Barents region at the turn of XX century: ecology, economics, culture. Proceedings of International Conference]. Arkhangelsk, 2000, pp. 164-165. [in Russian]

11. Permogorskaya Yu. M., Smetanina T. V. *Ekologiya 2003. Materialy molodezhnoi mezhdunarodnoi konferentsii* [Ecology 2003. Proceedings of Youth International Conference]. Arkhangelsk, 2003, pp. 62-63. [in Russian]

12. Puchkov A. V., Kiselev G. P. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2011, no. 9, pp. 19-23. [in Russian]

13. Rachkova N. G., Shuktomova I. L. *Vestnik IB* [IB Newsletter]. 2006, no. 7, pp. 4-11. [in Russian]

14. Repnitsyna O. N., Popova L. F. *Arktika i Sever* [The Arctic region and the North]. 2012, no. 9, pp. 1-15. [in Russian]

15. Ames L. L., Rai D. *Radionuclide interactions with soil and rock media*. U. S. Environmental Protection Agency; Office of radiation programs report EPA 520/6-78-007A. N.-Y., 1978. Vol. 1. 327 p.

16. Sposito G. *The surface chemistry of soils*. N.-Y., Oxford Univ. Press, 1984, 245 p.

17. *Subsurface Contaminant Focus Area: Monitored Natural Attenuation (MNA)-Programmatic, Technical, and Regulatory Issues*, Eds. Krupka K. M., Martin W. J. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, PNNL-13 569, 2001, 138 p.

MIGRATION OF ²³²Th and ²²⁶Ra IN SOILS OF ARKHANGELSK CITY: BASIC REGULARITIES

V. V. Kryauchyunas, E. V. Shakhova

Institute of Environmental Problems of North-Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

The basic regularities of spatial migration of natural radionuclides ²³²Th and ²²⁶Ra in the soils of the Arkhangelsk city have been established. The main factors affecting spatial distribution of the natural radionuclides included a type of housing, a geological and geomorphological structure of the territory and a water regime of the soils.

Keywords: natural radionuclide, radionuclide migration, type of housing, urban soils, water regime of soil

Контактная информация:

Кряучюнас Видас Винанто — кандидат геолого-минералогических наук Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН

Адрес: 163000, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 23

E-mail: vidas76@mail.ru