

УДК [614.876+612.014.482](470.11)

МАЛОИНТЕНСИВНЫЕ РАДИОАКТИВНЫЕ АНОМАЛИИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА АРХАНГЕЛЬСКА

©2016 г. В. В. Крячюнас, С. А. Игловский, Е. В. Шахова, А. А. Любас, И. А. Кузнецова

Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск

Цель данной работы – выявить на территории города Архангельска основные малоинтенсивные радиоактивные аномалии как основной вероятный источник облучения людей малыми дозами; дать объективную оценку радиационных рисков и потенциального ущерба здоровью местного населения. Впервые на территории города применен метод автогамма-спектрометрической съемки с использованием мобильной системы радиационного мониторинга RS-700, которая позволяет измерять как природные, так и искусственные радионуклиды в реальном времени с точной привязкой к местности. Для детализации полученных результатов был применен метод пешеходной гамма-съемки с использованием геологоразведочного сцинтилляционного радиометра СРП-88Н и проведен почвенный отбор проб в каждом квартале города с дальнейшим определением удельной активности радионуклидов в счетном образце на гамма-спектрометре «Прогресс». В ходе радиоэкологического исследования получен уникальный массив данных по радиоактивному фону и удельной активности ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra в почвах. Выявлено девять локальных малоинтенсивных аномалий, определен их генезис. Сделана сравнительная комплексная оценка воздействия малых доз ионизирующей радиации на здоровье населения. Намечены возможные пути проведения дальнейших медико-экологических исследований в области изучения связи онкологических заболеваний и радиоактивности на территории Архангельска.

Ключевые слова: малоинтенсивные радиоактивные аномалии, малые дозы радиации, естественные радионуклиды, миграция радионуклидов, городские почвы, радиационная безопасность населения, строительные материалы

LOW-INTENSITY RADIOACTIVE ANOMALIES IN ARKHANGELSK CITY

V. V. Kriauchiunas, S. A. Iglovsky, E. V. Shakhova, A. A. Liubas, I. A. Kuznetsova

Institute of Environmental Problems of the North UB RAS, Arkhangelsk, Russia

The goal of the research is to find out the main low-intensity radioactive anomalies as the main probable source of human light irradiation in Arkhangelsk city; give an objective estimation of radiation risks and potential health damage of the local population. Avtogamma-spectrometric method, using a mobile radiation monitoring system RS-700 was firstly used in the city. It allows to measure both natural and artificial radionuclides in real time geo-referenced. Ground gamma survey method with geological prospecting scintillation radiometer SRP-88N has been used for specification of obtained results. Soil sampling has been selected in each city block with further definition of radionuclides specific activity in the gamma spectrometer counting sample "Progress". A unique set of data on the radioactivity level and the specific activity of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra in the soil have been collected as a part of the radio-ecological study. Nine local low-intensity anomalies have been revealed and their genesis has been set. The comparative comprehensive assessment of low doses ionizing radiation on human health has been done. Possible ways of further medical and environmental research in the field of oncological diseases and radioactivity study in the city of Arkhangelsk have been planned.

Keywords: low-intensity radioactive anomalies, low doses of radiation, natural radionuclides, radionuclides migration, urban soil, population radiation security, construction materials

Библиографическая ссылка:

Крячюнас В. В., Игловский С. А., Шахова Е. В., Любас А. А., Кузнецова И. А. Малоинтенсивные радиоактивные аномалии на территории города Архангельска // Экология человека. 2016. № 5. С. 9–16.

Kriauchiunas V. V., Iglovsky S. A., Shakhova E. V., Liubas A. A., Kuznetsova I. A. Low-intensity Radioactive Anomalies in Arkhangelsk City. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 5, pp. 9-16.

Фоновое облучение для жителей Северо-Западного региона от всех источников радиации составляет 2,9 мЗв/год, в том числе от техногенного — 0,1 мЗв/год [11]. Территория города Архангельска относится к геологическим районам с пониженным природным радиационным фоном [4, 5]. В результате антропогенной деятельности в городе формируется техногенно измененный радиоактивный фон, величина которого на отдельных локальных участках достигает 0,15 мкЗв/час (1,3 мЗв/год), что считается безопасной величиной в большинстве районов Российской Федерации (РФ). Однако известно, что длительное облучение в малых дозах может быть гораздо более опасным

по последствиям, чем кратковременное облучение в больших дозах (так называемый эффект Петко) [2, 3]. По статистике Архангельская область занимает лидирующее место в России по заболеваемости и смертности от онкологических заболеваний. Показатель заболеваемости злокачественными новообразованиями в Архангельской области составил 429,6 на 100 000 населения (по РФ — 367,3 на 100 000 населения), что на 7,2 % выше уровня 2011 года (по РФ — на 0,5 %) и на 41,6 % выше уровня 2012 года (по РФ — на 17,9 %) [9]. Поэтому проведение многоаспектных радиологических исследований на территории города Архангельска считается актуальным.

Цель исследования — выявить на территории города основные малоинтенсивные аномалии по радиоактивному фону, удельному содержанию ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K в почве как основной вероятный источник облучения людей малыми дозами; дать объективную оценку радиационных рисков и потенциального ущерба здоровью местного населения.

Методы

Район, объект и предмет исследования. В геоморфологическом плане территория Архангельска представляет собой низкую пологоволнистую и холмисто-грядовую равнину, слабо наклоненную в сторону долины Северной Двины. Около 75 % всех первичных форм рельефа на территории города занимают болота с мощностью торфа в некоторых районах более 8 м. Планомерное осушение болот и пригрузка торфа песком началась с 60-х годов прошлого века и продолжалась в течение 20 лет. Это привело к тому, что на поверхности преобладает слой техногенных отложений мощностью от 1 до 4 м, крайне неоднородных по составу [8].

Основными объектами исследования являлись городские почвы. Почвообразование в районе исследования тесно связано с хозяйственной деятельностью человека и конкретным сочетанием природных факторов почвообразования. Поверхностные слои городских почв чаще всего имеют супесчаный механический состав, они сильно распылены, переслоены глиной, торфом или строительным мусором. Ряд авторов [7, 10] относят почвы в исторической части Архангельска к типичным урбаноземам, а почвы во дворах новостроек, созданные путем смешивания торфа с песком при обустройстве территории, — к реплантоземам.

Предметом исследования являлись радиоактивный фон на рассматриваемой территории и удельная активность ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra в городских почвах.

Аппаратура и методика исследований. В процессе радиологического исследования территории применялись полевые радиометрические методы, в частности пешеходный гамма-метод. Он заключался в точечном измерении γ -излучения на поверхности пород с помощью геологоразведочного сцинтилляционного радиометра СРП-88Н со сцинтилляционным детектором NaI, который обладает хорошими спектрметрическими свойствами и высокой эффективностью по отношению к гамма-излучению естественных радионуклидов. Всего было сделано 18 000 замеров через 50 м на высоте 15 см от поверхности почвы. Для проверки достоверности полученных результатов были проведены повторные измерения радиоактивного фона в 100 произвольно выбранных точках, которые подтвердили первоначальные данные с погрешностью не более 10 %.

В комплексе с пешеходным методом применялся автомобильный вариант гамма-метода, который заключался в непрерывном измерении гамма-активности пород с движущегося автомобиля. В качестве гамма-спектрметрической аппаратуры при выполнении

данного метода использовалась мобильная системы радиационного мониторинга RS-700. Система снабжена встроенным приемником GPS, который позволяет точно определить координаты каждого измерения. В системе используется передовая технология DSP (цифровая обработка)/FPGA (программируемая в поле матрица логических элементов). Система RS-700 с усовершенствованным цифровым спектрометром (ADS) представляет собой гамма-спектрометр высокого разрешения (1 024 канала), который может измерять как природные, так и искусственные элементы в реальном времени.

В каждом квартале города отбирались точечные пробы из верхнего слоя почвы мощностью 5 см вместе с растительностью. Отбор, хранение и транспортировка проб почв осуществлялись в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [1]. После этого пробу измельчали, засыпали в сосуд Маринелли и взвешивали на электронных весах типа ВЛЭ-1500 с точностью измерения 1 г. Для определения удельной активности радионуклидов почвенный образец помещался в гамма-спектрометр «Прогресс». 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

Проведенная автогамма-спектрметрическая съемка улично-дорожной сети показала, что мощность поглощенной дозы излучения на территории центральной части города Архангельска изменяется в широких пределах от 14 до 174 нГр/ч (рис. 1). В ходе уточняющей пешеходной гамма-съемки установлено, что радиоактивный фон колеблется от 5 до 70 имп./сек. (рис. 2).

В каждом квартале города опробовался верхний слой почвы мощностью 5 см вместе с растительностью, объемом воздушно сухой смеси 1 дм³. Установлено, что содержание ^{137}Cs в почвах в целом по Архангельску варьирует в широких пределах — от 2 до 180 Бк/кг, в центральной части города — от 2 до 68 Бк/кг (рис. 3а).

Абсолютные значения удельной активности ^{226}Ra в верхнем почвенном горизонте города изменяются от 2 до 90 Бк/кг и от 3 до 30 Бк/кг в центральных его кварталах (рис. 3б). Пространственное распределение ^{232}Th в почвах и грунтах в различных районах города варьирует от 2 до 90 Бк/кг и, в более узком диапазоне, от 3 до 45 Бк/кг в центре города (рис. 3в). Удельное содержание ^{40}K в почвах и грунтах, если брать город в целом, изменяется в широких пределах — от 2 до 2100 Бк/кг, а в центральном районе — от 115 до 789 Бк/кг (рис. 3г).

Впервые на территории Архангельска выявлен целый ряд малоинтенсивных локальных аномалий, связанных с повышенной активностью в почве одного или целого комплекса радионуклидов. В результате было выявлено девять аномалий (рис. 4). Средняя

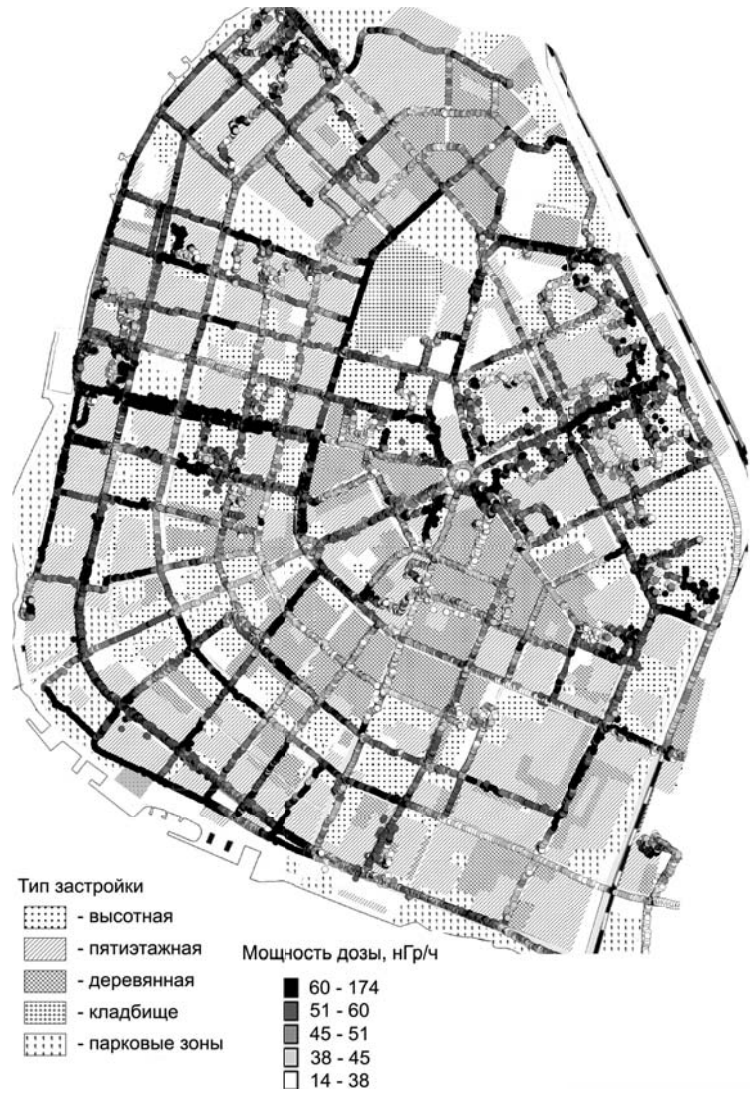


Рис. 1. Мощность поглощенной дозы гамма-излучения на территории центральной части г. Архангельска [5]

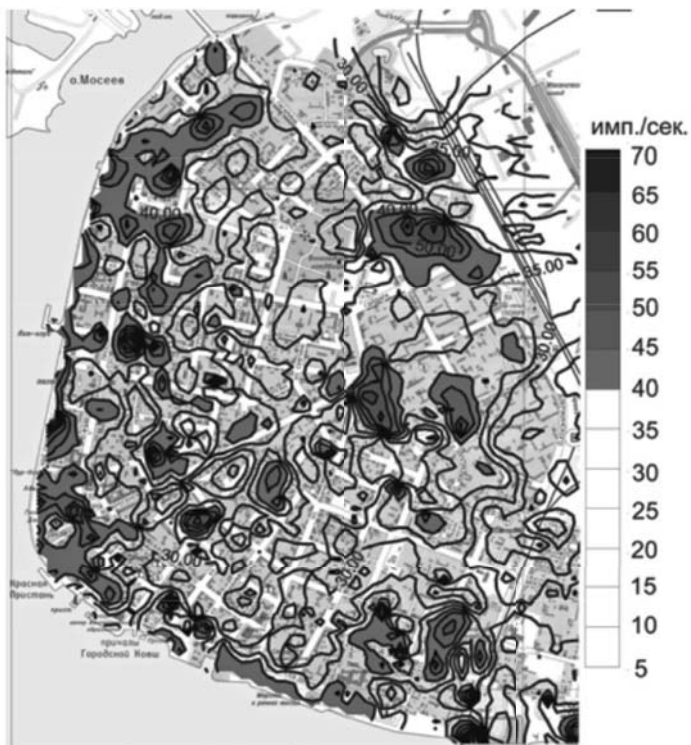
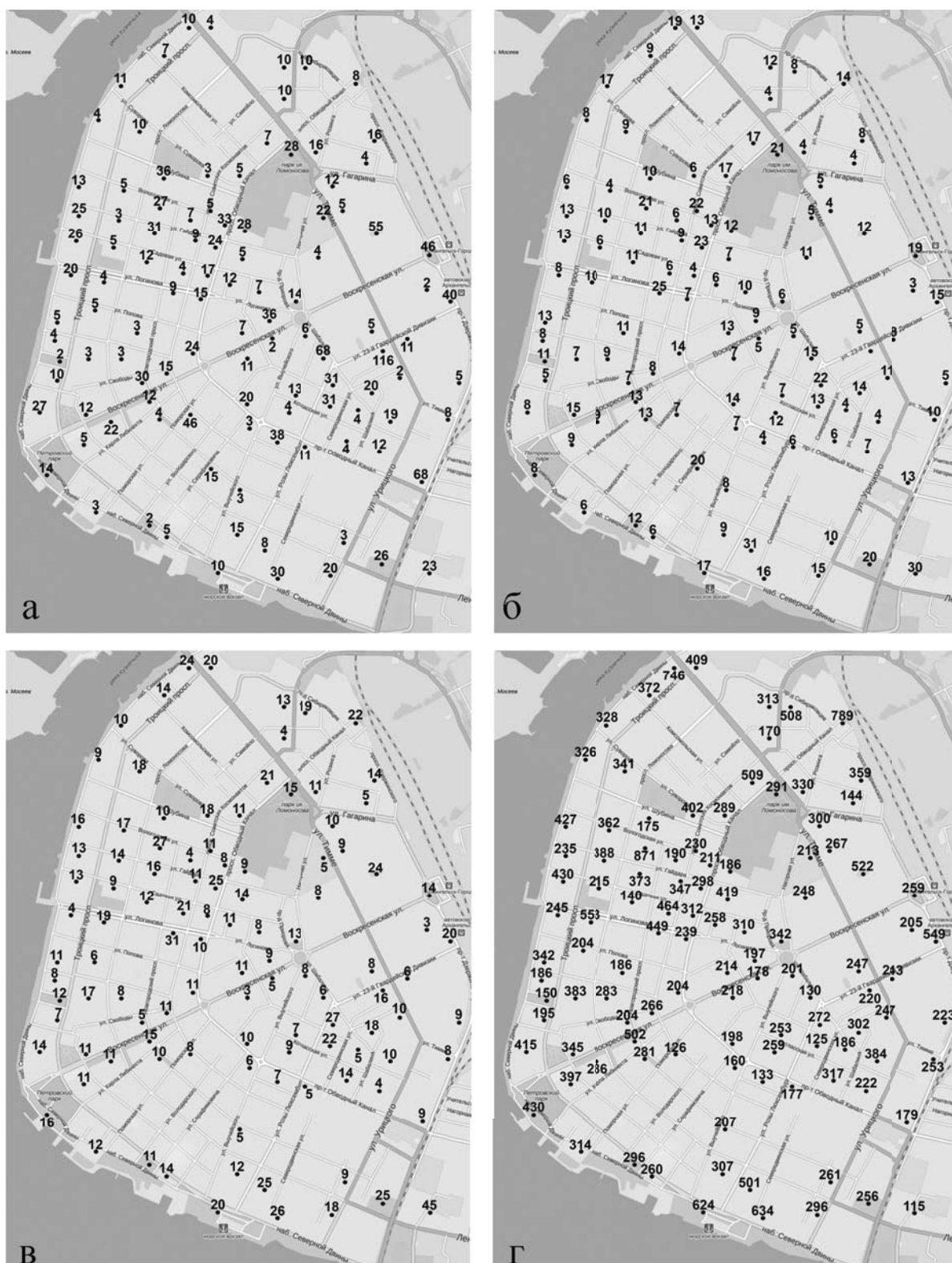


Рис. 2. Среднее значение радиоактивного фона, пешеходная гамма-съемка выполнена с помощью радиометра СРП-88н



а – ^{137}Cs , б – ^{226}Ra , в – ^{232}Th , г – ^{40}K

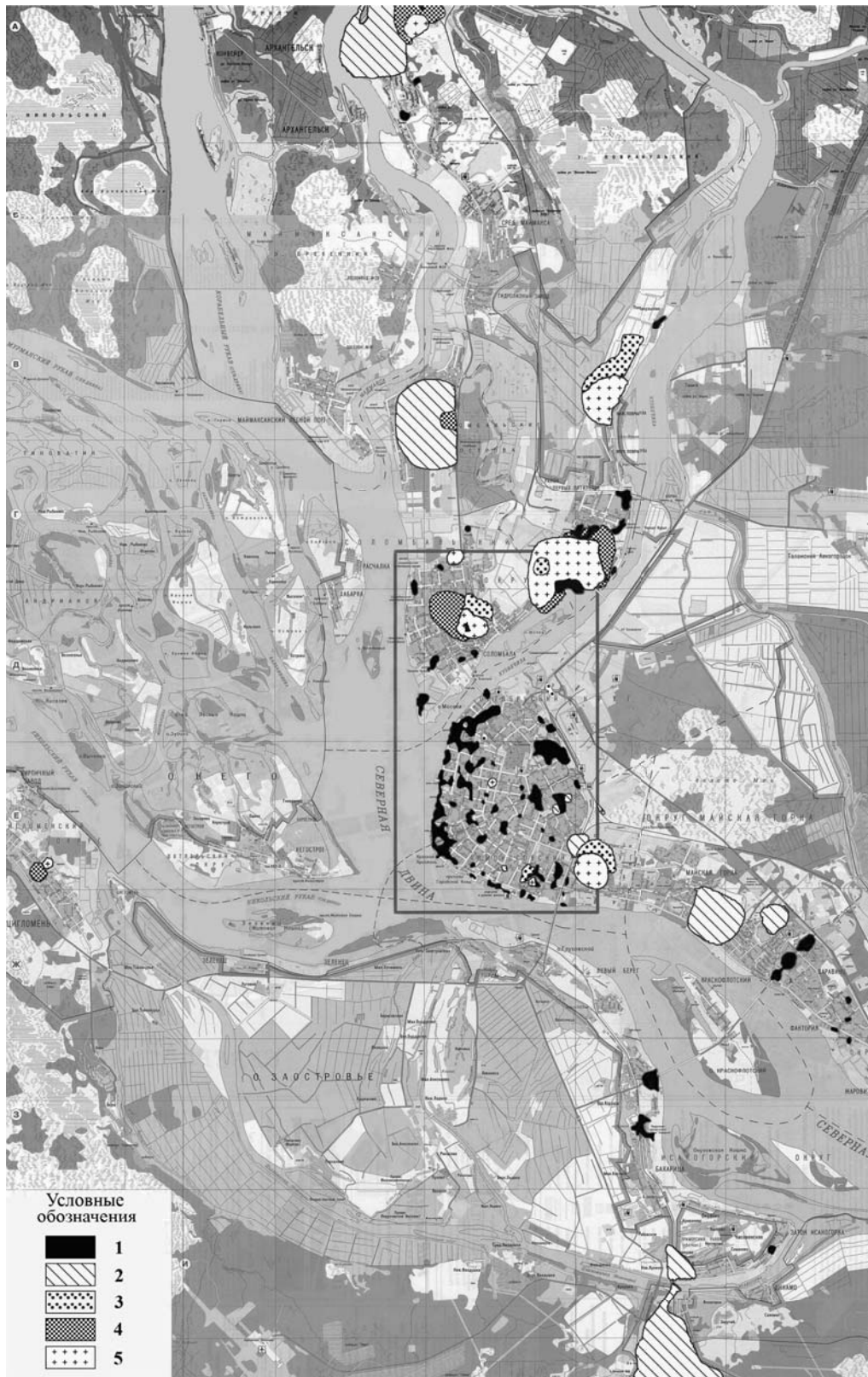
Рис. 3. Пространственное распределение радионуклидов в почвах г. Архангельска

активность по тому или иному показателю зоны превышает общую среднюю активность по тому же показателю в целом по городу.

Обсуждение результатов

В настоящее время не существует единого опре-

деления малых доз. Наиболее распространена точка зрения, по которой малыми считаются все дозы менее 1 Гр. В соответствии с другим подходом малые дозы – это дозы в 100 раз превышающие уровень естественного радиоактивного фона [15]. По экспертным оценкам Научной комиссии по действию атомной



1 – радиоактивный фон (от 80 до 110 имп/сек.)
 2–5 – распределение активности радионуклидов: 2 – ^{137}Cs (> 60 Бк/кг), 3 – ^{40}K (> 1200 Бк/кг), 4 – ^{226}Ra (> 50 Бк/кг), 5 – ^{232}Th (> 55 Бк/кг)

Рис. 4. Малоинтенсивные локальные аномалии

радиации ООН (НКДАР), для человека граница малой дозы соответствует 0,02 сГр (или 0,002 Гр) [14].

В центральной части города выявлен целый ряд

локальных малоинтенсивных аномалий, в которых радиоактивный фон в несколько раз превышает окружающий природный фон. Самая крупная аномалия в

центре города тянется вдоль набережной Северной Двины, мощность поглощенной дозы гамма-излучения здесь колеблется от 60 до 147 нГр/час. Генезис данной аномалии связан с тем, что при строительстве набережной в качестве строительного материала активно использовался карельский гранит с высоким содержанием естественных радионуклидов — ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th . Повышение мощности дозы гамма-излучения относительно природного фона отмечено также в районе Вологодского кладбища, основная причина данной локальной аномалии связана с могильными памятниками, сделанными преимущественно из китайского и карельского гранита. Небольшие по площади аномалии с повышенным радиоактивным фоном фиксируются в исторической части города в районах с каменной дореволюционной застройкой и застройкой 1930–50-х годов. Повышенный радиоактивный фон на данных локальных участках связан с использованием в процессе строительства красного кирпича с высоким содержанием естественных изотопов. По некоторым данным, кирпич был привезен из Голландии для постройки церквей, которые в 20–30-х годах XX века были разобраны, а кирпич повторно использовался для строительства новых зданий.

С помощью мобильного комплекса RS-700 выявлены локальные участки с повышенным относительно остальной территорией уровнем радиоактивного фона; площадь таких участков составляет от 5 до 10 м². Эти локальные повышения фона связаны с нарушением целостности асфальтового покрытия дорог, в результате чего гравийная отсыпка, в основном состоящая из гранитного щебня, выходит на дневную поверхность. Проведенные измерения гравийной отсыпки на гамма-спектрометре «Прогресс» показали относительно высокую удельную активность естественных радионуклидов: ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra .

Большинство участков с повышенным радиоактивным фоном располагаются в местах, где население проводит относительно короткий промежуток времени, поэтому они являются не опасными для человека. Вероятным источником облучения людей малыми дозами является кирпичная дореволюционная застройка и застройка 1930–50-х годов. Однако чтобы говорить о потенциальном ущербе здоровью, необходимо провести более детальные радиологические исследования внутри жилых помещений и сопоставить полученные результаты со статистическими данными по онкозаболеваемости населения в данных районах.

Рассматривая природу формирования малоинтенсивных аномалий на территории Архангельска, следует отметить, что их генезис прежде всего связан с физико-химическими свойствами как радионуклидов, так и городских почв. Так, локальные малоинтенсивные аномалии ^{137}Cs в городской черте территориально приурочены к парковым зонам и к районам, где сохранились торфяные залежи и естественные ненарушенные почвы. Последние по сравнению с городскими почвами характеризуются более плотным сложением и в основном представлены тяжелыми и

средними суглинками с хорошо выраженным перегнойно-аккумулятивным горизонтом. Поступая в почву с атмосферными осадками, ^{137}Cs образует прочные химические связи с гумусовыми и фульвокислотами и концентрируется в верхнем пятисантиметровом слое почвы. Такие аномалии обнаружены в верхнем пятисантиметровом слое почв в кварталах с деревянной застройкой, в почвах парков, скверов и насаждений ограниченного пользования. Следует отметить, что некоторые цезиевые аномалии исчезли в связи со строительными работами на данных территориях, в ходе которых произведен снос зеленых насаждений, выторфовка грунта и отсыпка песком территории под строительство.

В свою очередь, малоинтенсивные локальные аномалии ^{232}Th и ^{226}Ra в основном приурочены к районам дислокации почв, сильно захламленных строительным мусором. Наличие в почве различного строительного мусора предопределяет химические свойства почвы [6]. Являясь изотопами химических элементов, радионуклиды характеризуются теми же свойствами, что и стабильные изотопы этих элементов. Так, генезис локальных аномалий ^{226}Ra [12] обусловлен присутствием в почве кальция и карбонатов, с которыми он совместно соосаждается. Кальций высвобождается 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, что способствуют аккумуляции радия в верхнем слое почв и формированию локальных радиевых аномалий. Основные крупные аномалии с повышенным удельным содержанием ^{226}Ra в почве обнаружены в кварталах с пятиэтажной кирпичной застройкой, искусственно сформированные почвы в данных районах здесь достаточно сильно загрязнены битым кирпичом и цементом.

Высокое усредненное удельное значение ^{232}Th в почвах связано с повышенным содержанием нитратов [13], хлоридов, 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 способствует его выведение 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 [16]. Такие ториевые аномалии на территории города Архангельска фиксируются в некоторых кварталах с пятиэтажной застройкой 1960–80-х годов, что связано с высокой степенью загрязнения почвы строительными материалами и большой мощностью песчаной отсыпки, которую делают при строительстве на участках с большой мощностью торфа.

Кроме пространственного распределения естественных радионуклидов ^{232}Th и ^{226}Ra мы изучали поведение ^{40}K в городских почвах. Все локальные малоинтенсивные аномалии ^{40}K в пределах города обнаружены на приусадебных огородах в частном секторе, которые используются для выращивания обычных огородных культур (картофеля, капусты, лука, огурцов, моркови и т.д.). Высокая удельная активность калия в почве на данных территориях объясняется тем, что местное население для повышения урожайности активно использует калийные удобрения. Тем же объясняется генезис калийных аномалий на территории бывших огородов и в городских парках в центральной части города.

Большинство локальных малоинтенсивных аномалий с повышенными концентрациями радионуклидов в почве зафиксировано в районах, где население находится непродолжительный период времени. Однако на территории города есть аномалии, которые могут представлять потенциальную опасность для здоровья человека. Наиболее негативное воздействие могут оказать цезиевые и калиевые аномалии, которые были обнаружены в некоторых кварталах с деревянной застройкой, где преобладает в основном частное домовладение. Здесь на огородах местные жители выращивают для личного потребления сельскохозяйственную продукцию, которая может быть заражена данными радионуклидами в результате миграции по схеме «почва — растение». Для того чтобы подтвердить или опровергнуть данное утверждение, необходимо в дальнейшем замерить концентрацию этих элементов в сельскохозяйственной продукции и полученные результаты сопоставить с онкозаболеваемостью в данных районах города.

Аномалии с повышенным содержанием ^{232}Th и ^{226}Ra в почве в кварталах со старой каменной застройкой действуют на человека опосредованно, повышая общий радиоактивный фон в местах постоянного местожительства.

Таким образом, антропогенное воздействие на почвы и физико-химические свойства радионуклидов и почв — это основные факторы, влияющие на пространственное распределение радионуклидов. Генезис всех радиоактивных аномалий в пределах города Архангельска связан с радиоактивностью исходных компонентов строительных материалов. Малоинтенсивные аномалии в основном выявлены в районах, где человек проводит относительно короткий промежуток своей жизни, и ионизирующее облучение не должно оказывать серьезных влияний на организм. Однако для того чтобы говорить о радиационном благополучии населения города Архангельска, необходимо провести дополнительное комплексное изучение радиоактивности внутри жилых домов и полученные результаты сравнить со статистикой онкологических больных в пределах города. Полученные результаты имеют социальное и экологическое значение, так как позволяют прогнозировать дальнейшую миграцию

данных радионуклидов под влиянием природных и антропогенных процессов.

Список литературы

- 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: 04.03.2016).
- Грэйб Р. Действие малых доз ионизирующего облучения. Эффект Петко. М., 1996. 390 с.
- 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.
- Крячюнас В. В. Естественная и техногенная радиоактивность почв Архангельской промышленной агломерации: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Москва, 2008. 24 с.
- Крячюнас В. В., Любас А. А. Особенности пространственной вариабельности радиоактивного фона на территории Архангельска // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2013. № 2. С. 19–27.
- Крячюнас В. В., Шахова Е. В. Основные закономерности миграции ^{232}Th и ^{226}Ra в почвах г. Архангельска // Экология человека. № 8. 2013. С. 23–27.
- Наквасина Е. Н., Пермогорская Ю. М., Попова Л. Ф. Почвы Архангельска. Структурно-функциональные особенности, свойства, экологическая оценка. Архангельск: АГТУ, 2006. 124 с.
- Невзоров А. Л. Особенности взаимодействия техносферы и геологической среды Архангельска // Материалы международной конференции «Поморье в Баренц-регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура», Архангельск, 20–24 июня, 2000. С. 164–165.
- О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2013 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2014. 191 с.
- Пермогорская Ю. М., Сметанина Т. В. Разнообразие, состояние и свойства почв города Архангельска // Материалы молодежной международной конференции «Экология—2003», Архангельск, 17–19 июня, 2003. С. 62–63.
- Промышленный Север. Атомные технологии и среда обитания. М.: Комтехпринт, 2004. 40 с.
- 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.
- Репницына О. Н., Попова Л. Ф. Трансформация подвижных форм меди в сезоннопромерзающих почвах города Архангельска // Арктика и Север. 2012. № 9. С. 1–15.
- Рождественский Л. М., Кондратов А. А. Концепция действия пролонгированной ионизирующей радиации низкой интенсивности как раздражающего, а не повреждающего фактора // Тезисы докладов третьего съезда радиационных исследований. Пушино, 1997. Т. 1. 367 с.
- Ярошинская А. А. Ядерная энциклопедия. М.: Благотворительный фонд Ярошинской, 1996. 656 с.
- 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.

References

1. 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. «Environment protection. The soil. Methods of sampling and samples' preparation for chemical, bacteriological, helminthological analysis]. Available at: <http://tehnorma.ru/normativbase/8/8936/index.htm> (accessed 04 March 2016).
2. Greib R. *Deistvie malykh doz ioniziruyushchego oblucheniya. Effekt Petko* [Effects of low dose of ionization radiation. Effect Petco]. Moscow, 1996. 390 p.
3. Karpin V. A., Kostyukova N. K., Gudkov A. B. Human radiation action of radon and its daughter disintegration products. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. 2005, 4, pp. 13-17. [in Russian]
4. Kryauchyunas V. V. *Estestvennaya i tekhnogennaya radioaktivnost' pochv Arkhangel'skoi promyshlennoi aglomeratsii. Avtoref. kand. diss.* [Natural and man-made radioactivity of soil of Arkhangelsk industrial agglomeration. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Moscow, 2008. 24 p.
5. Kryauchyunas V. V., Lyubas A. A. Features of the spatial variability of radioactivity on the territory of Arkhangelsk. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series: Natural Science]. 2013, 2, pp.19-27. [in Russian]
6. Kryauchyunas V. V., Shahova E. V. Basic regularity of migration ²³²Th and ²²⁶Ra in soils in Arkhangelsk. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2013, 8, pp. 23-27. [in Russian]
7. Nakvasina E. N., Permogorskaya Yu. M., Popova L. F. *Pochvy Arkhangel'ska. Strukturno-funktsional'nye osobennosti, svoistva, ekologicheskaya otsenka* [Soils of Arkhangelsk. Structural-functional features, properties, environmental assessment.]. Arkhangelsk, 2006, 124 p.
8. Nevzorov A. L. Osobennosti vzaimodeistviya tekhnosfery i geologicheskoi sredy Arkhangel'ska [Features of interaction of the technosphere and the geological environment of Arkhangelsk]. In: *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii «Pomor'e v Barents-regione na rubezhe vekov: ekologiya, ekonomika, kul'tura», Arkhangelsk, 20-24 iyunya 2000* [Proceedings of International Conference "Pomorje in the Barents region at the turn of centuries: ecology, economy and culture", Arkhangelsk, 20-24 June 2000]. Arkhangelsk, 2000, pp. 164-165.
9. *O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossiiskoi Federatsii v 2013 godu. Gosudarstvennyi doklad.* [On the state sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2013: State report]. Moscow, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing Publ., 2014, 191 p.
10. Permogorskaya Yu. M., Smetanina T. V. Raznoobrazie, sostoyanie i svoistva pochv goroda Arkhangel'ska [Variety, the state and properties of soils in Arkhangelsk]. *Materialy molodezhnoi mezhdunarodnoi konferentsii «Ekologiya-2003».* Arkhangel'sk, 17-19 iyunya 2003 [Proceedings of International youth Conference "Ecology-2003", Arkhangelsk, 17-19 June 2003]. Arkhangelsk, 2003, pp. 62-63.
11. *Promyshlenniy Sever. Atomnye tekhnologii i sreda obitaniya* [The industrial North. Nuclear technology and environment]. Moscow, 2004. 40 p.
12. Rachkova N. G., Shuktomova I. L. Sorption as one of the leading processes governing the mobility of uranium, radium and thorium. *Vestnik Instituta biologii Komi NC UrO RAN* [Bulletin of the Institute of Biology of Komi scientific Center UB RAS]. 2006, 7, pp. 4-11. [in Russian]
13. Repnicyna O. N., Popova L. F. The transformation of the mobile forms of copper in seasonal frost soils of Arkhangelsk. *Arktika i Sever* [Arctic and North]. 2012, 9, pp. 1-15. [in Russian]
14. Rozhdestvenskii L. M., Kondratov A. A. Kontseptsiya deistviya prolongirovannoi ioniziruyushchei radiatsii nizkoi intensivnosti kak razdrzhayushchego, a ne povrezhdayushchego faktora [The concept of prolonged action of low-intensity ionizing radiation as annoying and not damaging factor]. In: *Tezisy dokladov tret'ego s"ezda radiatsionnykh issledovaniy* [Thesis of report of the Third Conference of the radiological investigation], Pushchino 1997, 1, 367 p. [in Russian]
15. Yaroshinskaya A. A. *Yadernaya entsiklopediya* [Nuclear Encyclopaedia]. Moscow, Foundation for Yaroshinskaya. 1996, 656 p.
16. 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.

Контактная информация:

Крячюнас Видас Винанто — кандидат геолого-минералогических наук ФГБУН «Институт экологических проблем Севера Уральского отделения Российской академии наук»
 Адрес: 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23
 E-mail: vidas76@mail.ru