

Н. А. Барило¹, А. Д. Карпов², Е. А. Удальцов¹✉

Естественные радионуклиды в верхнем слое почв промышленной и лесной зоны г. Новосибирска

¹ Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Красноярский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
лесоводства и механизации лесного хозяйства, г. Красноярск, Российская Федерация
e-mail: ugodnic@gmail.com

Аннотация. Масштабное поступление естественных радионуклидов возникает в местах работы предприятий ядерного топливного цикла, а также на объектах и площадках выведенных из эксплуатации предприятий по добыче и переработке урановых руд, которые относятся к «урановому наследию». Особенно данная проблематика актуальна для предприятий, расположенных непосредственно в городах. В таком случае негативному воздействию радиации может быть подвержена не только окружающая среда, но и население и работники близлежащих предприятий и организаций. Перед авторами поставлена цель провести радиоэкологические исследования территорий промышленной зоны и пригородных лесных массивов г. Новосибирска. В ходе исследования применялся комплекс современного приборного обеспечения – дозиметры радиометры, радиометр радона и гамма–спектрометр с детектором из особо чистого германия. На выявленных участках радиоактивных загрязнений проведена пешая поисковая гамма–съемка местности, измерения плотности потока радона, отбор проб почв и гамма–спектрометрический анализ с целью установления радионуклидного состава и удельных активностей радионуклидов в пробах. Обнаружены локальные радиоактивные загрязнения техногенного происхождения естественными радионуклидами ряда урана почв промышленной зоны и лесного массива г. Новосибирска. Выявленные загрязнения лесного массива представляют опасность для населения, поскольку наблюдается размывание участка и вынос радионуклидов водой. Активное пылеобразование на радиоактивно загрязненном участке промышленной зоны может приводить к ингаляционному поступлению радионуклидов и облучению как населения, так и работников окружающих участков предприятий и организаций.

Ключевые слова: радиоэкология, естественные радионуклиды, радиоактивные отходы, радиоактивные загрязнения

N. A. Barilo¹, A. D. Karpov², E. A. Udaltsov¹✉

Natural radionuclides in the upper soil layer of the industrial and forest zone of Novosibirsk

¹ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

² Krasnoyarsk branch of the All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization,
Krasnoyarsk, Russian Federation
e-mail: ugodnic@gmail.com

Abstract. The large-scale influx of natural radionuclides occurs at the sites of nuclear fuel cycle enterprises, as well as at facilities and sites decommissioned from uranium ore mining and processing, which are referred to as "uranium legacy." This issue is particularly relevant for enterprises located directly within urban areas. In such cases, the negative impact of radiation can affect not only the

environment but also the population and workers of nearby enterprises and organizations. The authors aim to conduct radioecological studies of the industrial zone and suburban forest areas of Novosibirsk. A comprehensive set of modern instrumentation was used during the research, including dosimeters, radiometers, a radon meter, and a gamma spectrometer with a high-purity germanium detector. On identified sites of radioactive contamination, ground-based gamma surveys were conducted, radon flux density measurements were taken, soil samples were collected, and gamma spectrometric analysis was performed to determine the radionuclide composition and specific activities of radionuclides in the samples. Local radioactive contaminations of technogenic origin from natural radionuclides were found in the soils of the industrial zone and forest area of Novosibirsk. The identified contaminations in the forest area pose a risk to the population due to observed erosion of the site and the transport of radionuclides by water. Active dust formation in the radioactively contaminated area of the industrial zone may lead to inhalation exposure to radionuclides, affecting both the population and workers of surrounding enterprises and organizations.

Keywords: radioecology, natural radionuclides, radioactive waste, radioactive contamination

Введение

В настоящее время естественные радионуклиды (далее – ЕРН), извлеченные из недр человеком, являются значимыми загрязнителями окружающей среды. Масштабное поступление ЕРН возникает в местах работы предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ), а также на объектах и площадках выведенных из эксплуатации предприятий по добыче и переработке урановых руд, которые относятся к «урановому наследию» [1, 2]. В таких условиях радиационному облучению подвержена не только окружающая среда, а также население, проживающее на данной территории.

На территории Российской Федерации основными загрязнителями окружающей среды естественными радионуклидами выступают предприятия по добыче урановых руд в основном открытым способом, предприятия переработки и производства ядерного топлива. Практически все имеющиеся на территории страны загрязнения образованы во второй половине 20 века, и относятся в том числе к выведенным из эксплуатации объектам.

Перед авторами поставлена цель оценить радиоактивные загрязнения естественными радионуклидами почв пригородных лесных массивов и промышленной зоны г. Новосибирска.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи: измерить мощность амбиентного эквивалента дозы (далее – МАЭД) гамма-излучения на территориях промзоны и пригородного лесного массива и построить трек-карты; оценить плотность потока радона (далее – ППР) на радиационно загрязненных территориях; установить радионуклидный состав отобранных проб почв и удельные активности радионуклидов.

Методы и материалы

В ходе исследования применялся комплекс приборного и программного обеспечения. Для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы и пешей поисковой гамма съемки использовался дозиметр–радиометр МКС–01СА1М и дозиметр–радиометр RadiaCode–101 с программным обеспечением RadiaCode

ScanElectronics. Поисковая гамма-съемка местности выполнялась в соответствии с методическими рекомендациями МР 2.6.1.0361–24 [1].

На участках с обнаруженными в ходе поисковой гамма-съемки превышениями радиационного фона проведены измерения плотности потока радона с целью установить наличие или отсутствие загрязнений радионуклидами ряда урана. Измерения ППР проводились радиометром радона РРА–01М–01 АльфаРад с пробоотборным устройством ПОУ–04 по методике экспрессного измерения плотности потока радона ^{222}Rn с поверхности земли с помощью радиометра радона типа РРА, утвержденной ЦММИ ГП "ВНИИФТРИ"[2]. Измерение ППР основано на определении количества радона, накопленного в пробоотборнике или в камере РРА в течение фиксированного времени за счет поступления с поверхности почвы известной площади. Работа РРА основана на электростатическом осаждении ионизированных дочерних продуктов распада радона в измерительной камере на поверхность полупроводникового детектора и последующей регистрацией альфа-излучения RaA (^{218}Po).

Экспрессные измерения ППР (от 20 до 80 мБк/(м²·с)) для начального обследования участка проведены с отбором проб радона в пробоотборники в полевых условиях и последующим измерением ОАР в пробах с помощью РРА в стационарных условиях.

Для повторного измерения ППР в точках где наблюдалось превышение регламентированной величины 80 мБк/(м²·с) проводился отбор проб радона непосредственно в камеру РРА в полевых условиях и измерение на месте отбора проб.

На загрязненных участках отобраны пробы почв для определения радионуклидного состава и величин удельной активности радионуклидов. Отбор проб почв осуществлен по методическим рекомендациям МР 2.6.1/2.3.7.0216–20 [5]. Определение радионуклидного состава в пробах почв выполнено гамма-спектрометром GCD–40196 с HPGe детектором в программе SpectraLineBG, ЛСРМ.

Данные о состоянии мониторинга радиоактивных загрязнений в Новосибирской области получены из государственного доклада 2023 года [6].

Максимально допустимая удельная активность естественных радионуклидов в почвах нормируется в СанПиН 2.6.1.2523–09 НРБ–99/2009 и составляет 370 Бк/кг [7].

Результаты

В ходе проведения пешей поисковой гамма-съемки местности выявлены два участка с превышениями радиационного фона. Участки расположены в промышленной зоне Калининского района г. Новосибирска и пригородном лесном массиве. На обоих участках зафиксированы значительные превышения МАЭД над фоновыми значениями.

На участке в промышленной зоне МАЭД на расстоянии 1,0 м от поверхности варьировалась от 0,18 до 0,81 мкЗв/ч, на расстоянии 5 см от 0,35 до 15 мкЗв/ч. Значения ППР составили от 254 до 3678 мБк/(м²·с), что говорит о присутствии в почве радионуклидов ряда урана, продуктом распада которых является радон.

Пробы почв представляют собой смесь плодородного грунта, строительного мусора, фрагментов бытовых отходов и мелких минеральных образований, предположительно являющихся фрагментами урановых руд. Всего на данном участке отобрано 22 пробы почвы (рис. 1).



Рис. 1. Фрагменты урановых руд из проб почв промышленной зоны

Гамма спектрометрический анализ проб почв показал наличие радиоактивного загрязнения радием ^{226}Ra и его продуктами распада свинцом ^{214}Pb и висмутом ^{214}Bi . Учитывалась удельная активность ^{226}Ra (составила от 140 до 1415 Бк/кг), средние значения удельной активности радия и его продуктов распада.

Мощность дозы на участке лесного массива на расстоянии 1,0 м составляет от 0,38 до 2,4 мкЗв/ч, на расстоянии 5,0 см до 30 мкЗв/ч. Диапазон значений ППР от 292 до 24089 мБк/(м²*с), что также означает наличие в почвах радионуклидов ряда урана. Составлена карта МАЭД загрязненного участка.

Почвы лесного массива чистые, с фрагментами растительных остатков. Участок загрязнения частично заболочен, поэтому часть проб отбиралась дночерпателем штанговым ГР-91. Всего отобрано 25 проб (рис. 2, 3).

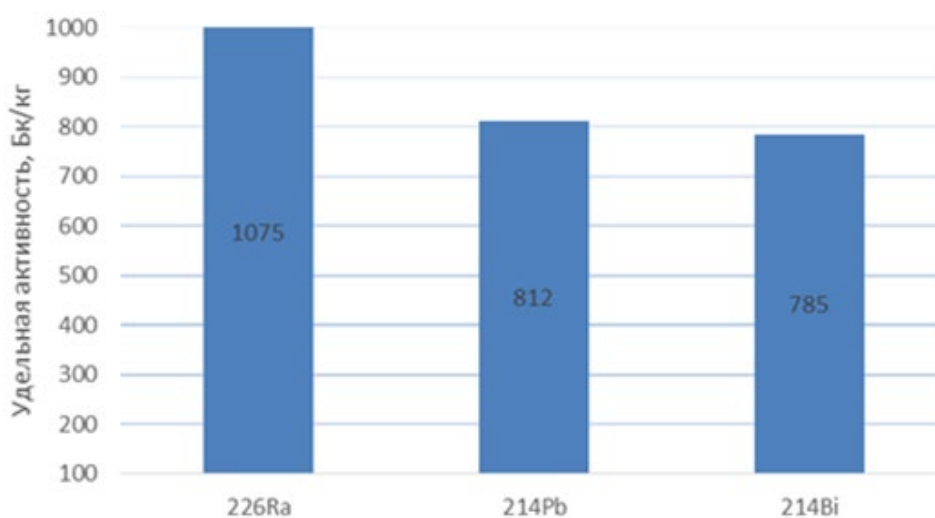


Рис. 2. Средние значения УА радия и его продуктов распада в пробах почв промышленной зоны

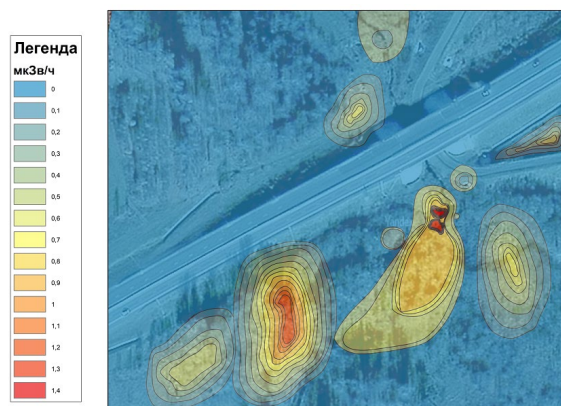


Рис. 3. Карта радиоактивного загрязнения лесного массива

В пробах почвы лесного массива удельная активность ^{226}Ra от 510 до 15061 Бк/кг, при этом удельная активность продуктов распада от 80 до 3135 Бк/кг. Средние значения УА радия и его продуктов распада представлены на рис. 4.

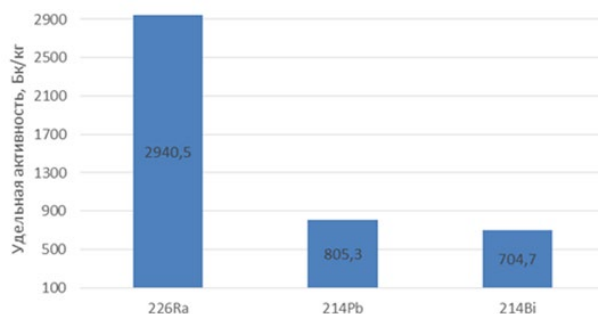


Рис. 4. Средние значения УА радия и его продуктов распада в пробах почв лесного массива

Удельная активность ^{232}Th в пробах, отобранных в промышленной зоне города и лесном массиве сопоставима и составляет от 21 до 76 Бк/кг. Во всех пробах радионуклидов техногенного происхождения не выявлено.

Обсуждение

Отсутствие радиоактивного равновесия между радием и его продуктами распада в пробах почвы пригородного лесного массива, где отмечен значительный сдвиг УА в сторону радия, свидетельствует о локальном загрязнении продуктами переработки урановой руды, которые содержат естественные радионуклиды ряда радия. То есть на данном участке загрязнение обусловлено твердыми радиоактивными отходами (ТРО), содержащими естественные радионуклиды.

Необходимо отметить отсутствие мониторинга загрязнений естественными радионуклидами почв и продуктов со стороны органов Роспотребнадзора. С 2019 по 2023 год мониторинг радиоактивных загрязнений проводился только по техногенному радионуклиду цезию ^{137}Cs , число проб мониторинга загрязнений ЕРН за эти же годы равно нулю.

Заключение

В ходе исследования обнаружены локальные радиоактивные загрязнения техногенного происхождения ЕРН почв промышленной зоны и лесного массива г. Новосибирска. Отношение радиоактивного неравновесия, близкое к единице, ^{226}Ra с его продуктами в пробах почв промышленной зоны и фрагменты урановых руд свидетельствуют о локальном загрязнении урановыми рудами неустановленного образца. Значительный сдвиг УА в сторону ^{226}Ra , отсутствие фрагментов руд и высокие значения УА радия до 15 кБк/кг означают загрязнение почв твердыми радиоактивными отходами (ТРО).

Выявленные загрязнения лесного массива представляют опасность для населения, поскольку наблюдается размывание участка и вынос радионуклидов водой, возможно загрязнение произрастающих на участке грибов и растений, сбор и употребление которых может представлять опасность. Активное пылеобразование на радиоактивно загрязнённом участке промышленной зоны может приводить к ингаляционному поступлению радионуклидов и облучению как населения, так и работников окружающих участков предприятий и организаций.

Благодарности

Авторами выражается благодарность генеральному директору ООО ЛСРМ А.А. Трохану за предоставление программного обеспечения NuclideMaster и GammaLab.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Титов А.В., Шандала Н.К., Бельских Ю.С., Серегин В.А., Дороньева Т.А., Филонова А.А., Семенова М.П., Гущина Ю.В., Павленко-Михайлов Ю.Н. Радиационная обстановка на территории площадки уранового наследия в пади Бамбакай (Забайкальский край) // Радиационная гигиена. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 72-81.
2. Манахов Д. В., Егорова З. Н. Формы нахождения радия 226 в подзолах северо-востока острова Сахалин в зоне влияния нефтедобывающего предприятия // Почвоведение. – 2014. – № 6. – С. 744–749.
3. МР 2.6.1.0361–24. Радиационный контроль земельных участков, предназначенных под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения, а также прилегающей к зданиям и сооружениям территории и территории общего пользования. утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 24 декабря 2024 г.
4. Методика экспрессного измерения плотности потока ^{222}Rn с поверхности земли с помощью радиометра радона типа РРА. ЦМИИ ГП ВНИИФТРИ. – 1998. – 21 с.
5. МР 2.6.1/2.3.7.0216-20. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. 2.3.7. Состояние здоровья населения в связи с состоянием питания. Радиохимическое определение удельной активности природных радионуклидов в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.09.2020).
6. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Новосибирской области в 2023 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – 2023. – 277 с.
7. СанПиН 2.6.1.2523–09. «Нормы радиационной безопасности НРБ–99/2009». –М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиены, сертификации и экспертизы Минздрава России. – 2009. – 114 с.

© Н. А. Барило, А. Д. Карнов, Е. А. Удальцов, 2025