УДК 681.5.017

Научная статья

Искажение радиационного фона городской среды вследствие агрессивного влияния техносферы. 2 этап: парки и зоны отдыха

Г. А. Яковлев¹, М. Ч. Зулу²

¹ Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, Россия

² Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: vsyakovleva@tpu.ru

В работе представлены результаты исследования гамма-фона от объектов техносферы в городской среде г. Томска, Россия, с помощью высокочувствительных детекторов БДКГ-03. Было замечено, что в радиусе 1 м от некоторых объектов техносферы поглощенная доза была на 1.5–4.4 выше, чем предел дозы, рекомендованный НКДАР ООН. Максимальная зарегистрированная мощность дозы на расстоянии 50 см от объектов техносферы составила 0.204 мкЗв/ч, что соответствует среднегодовой эффективной дозе внешнего облучения 0.31 мЗв и риску радиационно-индуцированного рака в течение жизни $1.09 \cdot 10^{-3}$. Диапазон изменения мощности AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения в г. Томске составил от 0.058 мкЗв/ч до 0.39 мкЗв/ч.

Ключевые слова: облучение населения, естественная радиация, гамма-излучение, радиационный фон, городская среда, техносфера, зона отдыха, парк.

DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-231-238

Поступила в редакцию: 01.12.2020

В окончательном варианте: 19.12.2020

Для цитирования. Яковлев Г. А., Зулу М. Ч. Искажение радиационного фона городской среды вследствие агрессивного влияния техносферы. 2 этап: парки и зоны отдыха // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2020. Т. 33. № 4. С. 231-238. DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-231-238

Контент публикуется на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Яковлев Г. А., Зулу М. Ч., 2020

Введение

Окружающий нас мир радиоактивен, и большая часть энергии ионизирующего излучения поглощается в органах и тканях человека. Доза облучения для населения контролируется только в части внешнего облучения гамма-излучением, которое испускается естественными источниками, такими как космические и земные. Для жителей городов дополнительным источником облучения являются объекты техносферы. Следовательно, оценка гамма-фона в городской среде является важным аспектом радиологической защиты населения. Современная эпоха характеризуется быстрым промышленным развитием, предприятия-производители воздействуют на

Финансирование. Работа выполнялась без финансовой поддержки.

окружающую среду в больших масштабах. Изменение окружающей среды человеком в экономических и социальных целях, например, добыча полезных ископаемых, переработка руды, добыча ископаемого топлива, строительство и коммерческая авиация, украшение инфраструктуры арт-объектами и проявление памяти о великих людях: ученых, философах, героях-солдатах, приводят к так называемым «технологически усовершенствованным радиоактивным материалам природного происхождения», которые также составляют различные объекты техносферы. Использование гранитных и др. материалов может приводить к повышенной дозовой нагрузке на население городов. Влияние различных объектов техносферы на радиационный фон практически никем не изучено, поэтому данное исследование устанавливает ориентир для исследования радиационного фона от различных объектов инфраструктуры. В данном исследовании особое внимание уделено паркам и другим зонам отдыха населения г. Томска.

Методы и материалы

Гамма-фон в парках и зонах отдыха г. Томска исследовали с помощью сцинтилляционных блоков детектирования гамма-излучения. БДКГ-03 (Атомтех, Беларусь). Высокая эффективность регистрации этих детекторов позволяет снизить неопределенность результатов измерений до 1-2 % при длительности одного измерения 5 минут. Это даёт большие преимущества перед газоразрядными счётчиками при исследовании минимальных изменений природного гамма-фона в атмосфере городской среды, следовательно, позволяет изучать влияние различных природных и техногенных объектов.

Для исследования были выбраны следующие зоны отдыха горожан: Лагерный сад; Ново-Соборная площадь и Аллея геологов. В каждой зоне отдыха было выбрано для исследования несколько площадок, на каждой площадке выбран ряд точек измерения, которые показаны на соответствующих рисунках стрелками и цифрами. Измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения производили несколько раз на одной и той же площадке в выбранных точках осенью, зимой и весной 2019-2020 гг.

Среднегодовая эффективная доза (AEDE)

Среднегодовая эффективная доза внешнего облучения гамма-излучением рассчитывается исходя из измеренных значений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения с применением корректирующего коэффициента $DCF=0.7$, рекомендованного НКДАР ООН, и фактора занятости $OF=0.2$ для внешнего излучения по формуле (1). Результаты основываются на предположении, что среднестатистический мужчина проводит на улице около 4.8 часов.

$$AEDE \text{ (мЗв за год)} = ADR \times T \times DCF \times OF \times 10^{-3}, \quad (1)$$

где ADR — среднее значение измеренной мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, мкЗв/ч; T — количество часов в году.

Оценка радиационно-индуцированного риска рака в течение жизни (далее ELCR)

Риск определяет вероятность возникновения радиационно-индуцированного рака и генетических эффектов от низкофоновой ионизирующего излучения. Радиационно-индуцированный рак связан с вероятностью развития болезни в течение всей жизни при заданном уровне облучения [1], который оценивают из выражения:

$$ELCR = AEDE \times DL \times RF, \quad (2)$$

где AEDE — среднегодовая эффективная доза внешнего облучения гамма-излучением; DL — средняя продолжительность жизни; RF — фактор риска.

Средняя продолжительность жизни оценивается в 70 лет. Для стохастических эффектов МКРЗ использует RF как 0.05 для населения, мировой допустимый стандарт $0.29 \cdot 10^{-3}$ [1]. Рассчитанные среднегодовые эффективные дозы облучения населения сравнивали с рекомендованными безопасными пределами доз и среднемировыми значениями.

Результаты и их обсуждение

а)

б)

Рис. 1. Изменение гамма-фона: а) возле памятных табличек из гранита; б) в 15-90 метрах от табличек.

На рис. 1 приведены результаты измерений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения в Лагерном саду около памятных табличек на гранитных блоках (рис. 1а), и для сравнения в том же масштабе изменения мощности дозы показаны результаты измерения на расстоянии 15-90 м от гранитных блоков (рис. 1б).

Таблица

Рассчитанные значения среднегодовой эффективной дозы для отдыхающих в Лагерном саду г. Томска

Точки измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9
AEDE, мЗв (в год)	0.08	0.28	0.14	0.27	0.15	0.27	0.15	0.27	0.08

В таблице приведены средние значения измеренной мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, с учетом коэффициента DCF (ADR), а также рассчитанные значения среднегодовой эффективной дозы внешнего гамма-облучения (AEDE) и оценки канцерогенного радиационно-индуцированного риска (ELCR). Стрелками и цифрами на рис. 1 а и б обозначены точки, в которых производили измерения. Результаты представлены с учетом статистической погрешности результата измерения.

На рис. 1 а хорошо видно повышение гамма-фона рядом с гранитными блоками (для точек 2, 4, 6 и 8 изменения проведены в 5 см от объекта), и его снижение по мере удаления от этих техносферных объектов. Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения изменялась от 0.06 до 0.23 мкЗв/ч. Измерения были произведены также на расстоянии 50 см. от гранитных блоков. На расстоянии порядка 7-10 м от блоков (точки 1 и 9) гамма-фон снижается до своего среднего значения, соответствующего данной территории. Это хорошо видно на рис. 1б, изменения от одной точки измерения к другой незначительны, и практически укладываются в диапазон фоновых изменений с учетом неопределенности результата измерения.

Была выявлена зависимость мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения от сезона года: осенние значения до выпадения снега выше, чем зимние. Это связано с тем, что снежный покров является поглотителем гамма-излучения, в данном случае нижние основания гранитных блоков покрыты снегом, что приводит к заметному снижению гамма-фона именно рядом с блоками.

Для измеренных значений ADR (рис. 2б) были рассчитаны значения среднегодовой эффективной дозы AEDE (табл.) и риска ELCR (рис. 2а) с учетом среднего времени, проведенного в этих точках жителем г. Томска.

Рис. 2. Рассчитанные значения: а) $ELCR \times 10^{-3}$; б) ADR для разных локаций

Максимальная измеренная мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 50 см от гранитного блока составила 0.204 мкЗв/ч, что соответствует среднегодовой эффективной дозе 0.31 мЗв и риску радиационно-индуцированного рака в течение жизни $1.09 \cdot 10^{-3}$.

Рис. 3. Изменение гамма-фона а) в Троицком сквере вдоль дороги; б) около памятника «Слава воину-победителю»

На рис. 3 приведены результаты измерения гамма-фона в Троицком сквере (на Ново-Соборной площади) в парковой зоне отдыха вдоль дороги (рис. 3а) и рядом с памятником «Слава воину-победителю» (рис. 3б), являющимся техногенным объектом. Измеренные значения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на данной территории составляли от 0.06 до 0.13 мкЗв/ч.

Для каждой из 3-х точек вблизи памятника были также рассчитаны значения среднегодовой эффективной дозы внешнего гамма-облучения и произведены оценки канцерогенного радиационно-индуцированного риска.

На рис. 3б хорошо видно повышение гамма-фона рядом с гранитными пьедесталом памятника (точка 1) более, чем в 2 раза по сравнению точкой 3, на расстоянии около 2 м от основания пьедестала. Для проверки измерения были проведены несколько раз в разные периоды года. Результаты показали хорошую воспроизводимость.

На рис. 4 показаны результаты исследования гамма-фона в Аллее геологов вдоль пешеходной зоны (рис. 4б) и рядом с памятником Сатпаеву К. И. (рис. 4а). Пьедестал памятника также облицован гранитными плитами с повышенным содержанием природных радионуклидов. Для измерений в зоне отдыха вокруг памятника было выбрано 7 точек, часть из которых (точки 1-3 и 5-6) находились рядом со скамьями, за которыми пролегает ограничивающий зону отдыха бортик, также облицованный материалом из гранита. Повышенная мощность дозы гамма-излучения наблюдается во всей зоне отдыха (рис. 4а) по сравнению с переходной дорожкой (рис. 4б). Вблизи гранитных плит гамма-фон почти в 3 раза выше, чем фон в прогулочной зоне.

Значения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения изменялись в исследуемой территории от 0.06 до 0.17 мкЗв/ч.

Оценки среднегодовой эффективной дозы внешнего гамма-облучения показали, что человек, находящийся на расстоянии 50 см от памятника Сатпаеву К. И. может получить дозу в 2.4 раза превышающую регламентированный нормами радиационной безопасности предел дозы, равный для населения 1 мЗв за год.

Рис. 4. Изменение гамма-фона в Аллее геологов: а) возле памятника Сатпаеву К.И.; б) вдоль прогулочной зоны со скамьями

Население г. Томск, отдыхающее на скамьях (точки измерения 1-3 и 5-6 рис. 4а) могут получить дозу облучения в 2 раза большую, чем если бы они сидели на скамьях, установленных вдоль дороги, выложенной тротуарной плиткой (точки измерения 2 и 4 рис. 4б).

Отдыхающие на скамьях взрослые (точки 2 и 6 рис. 4а), либо играющие рядом дети, могут подвергаться облучению в 1.7 раз выше, чем установленный в Российской Федерации предел дозы, и в 3.4 раза выше, чем среднемировое значение.

Результаты исследования радиационной обстановки в других местах Аллеи геологов около техногенных объектов (рис. 5а,б), также как и повторные измерения возле памятника Сатпаеву К. И (рис. 5в) в зимний период года приведены на рис 5. Там же приведено сравнение средних значений измеренной мощности дозы (ADR) (рис. 5i), а также рассчитанных значений среднегодовой эффективной дозы внешнего гамма-облучения (AEDE) (рис. 5ii), и оценок канцерогенного радиационно-индуцированного риска (ELCR $\times 10^{-3}$) (рис. 5iii).

Сама радиоактивным из обследованных техногенных объектов оказался памятник Усову М. А. (рис. 5б), мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на расстоянии 5 см от которого составила 0.39 мкЗв/ч.

Однако, учитывая, что вокруг этого памятника отсутствуют места для сидения, и длительного времяпрепровождения, он не представляет опасности для населения г. Томска, так же как и техногенные объекты в Лагерном саду и в Аллее геологов, кроме двух выявленных мест отдыха возле памятника Сатпаеву К. И. (рис. 4а) и арт-объекта «Символ нефтяной вышки» (рис. 5а). Присутствие рядом с этими объектами скамеек предполагает длительный и частый отдых, следовательно повышенное

облучение отдыхающего населения и увеличение потенциального канцерогенного риска.

Рис. 5. Изменение гамма-фона по мере удаления от объектов техносферы: а) Символ нефтяной вышки; б) памятник Усову М. А.; в) памятник Сатпаеву К.И., и сопоставление измеренных и расчетных значений: i) ADR; ii) AEDE; iii) $ELCR \times 10^{-3}$ с рекомендованным НК ДАР ООН безопасным уровнем (пределом дозы в РФ) и среднемировыми значениями

Заключение

Исследование изменений радиационного фона городской среды за счет объектов техносферы, таких как арт-объекты, памятники, стеллы показало, что объекты техносферы в ряде случаев могут представлять потенциальный риск повышенного облучения населения, что может привести к увеличению вероятности развития раков в течение жизни. Было выявлено, что человек, стоящий в 50 см от определенных объектов техносферы, может получить дозу облучения до 2.4 выше, чем рекомендуемый безопасный предел. Отдыхающие на скамейках, близко расположенных к техногенным объектам, наиболее подвержены риску повышенного облучения, доза в ряде случаев может оказаться в 1.7 раза больше чем рекомендованный безопасный предел и в 3.4 раза выше среднемирового значения. Результаты данного исследования могут быть полезны организациям по охране окружающей среды, радиологической защите населения и градостроительным организациям.

Конкурирующие интересы. Авторы заявляют, что конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Все авторы участвовали в написании статьи и полностью несут ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.

Список литература/References

- [1] Taskin H., Karavus M., Ay P., Topuzoglu A., Hidiroglu S., Karahan G., "Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey", *Journal of Environmental Radioactivity*, **100**:1 (2009), 49–53.

Distortion of the radiation background of the urban environment due to the aggressive influence of the technosphere. Stage 2: parks and recreation areas

G. A. Yakovlev¹, M. Ch. Zulu²

¹ Tomsk State University, 634050, Tomsk, Lenin Ave., 36, Russia

² Tomsk Polytechnic University, 30, Lenina ave., Tomsk 634050 Russia.

E-mail: vsyakovleva@tpu.ru

The paper presents the results of a study of the gamma background from technosphere objects in the urban environment of Tomsk, Russia, using high-sensitivity detectors BDKG-03. It was noted that within a radius of 1 m from some objects of the technosphere, the absorbed dose was 1.5–4.4 higher than the dose limit recommended by UNSCEAR. The maximum recorded dose rate at a distance of 50 cm from the objects of the technosphere was 0.204 $\mu\text{Sv/h}$, which corresponds to an average annual effective dose of external radiation of 0.31 mSv and a lifetime risk of radiation-induced cancer of $1.09 \cdot 10^{-3}$. The variation range of the ambient dose equivalent rate of gamma radiation in Tomsk was from 0.058 $\mu\text{Sv/h}$ to 0.39 $\mu\text{Sv/h}$.

Key words: exposure of the population, natural radiation, gamma radiation, background radiation, urban environment, technosphere, recreation area, park.

DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-231-238

Original article submitted: 01.12.2020

Revision submitted: 19.12.2020

For citation. Yakovlev G. A., Zulu M. Ch. Distortion of the radiation background of the urban environment due to the aggressive influence of the technosphere. Stage 2: parks and recreation areas. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2020, **33**: 4, 231-238. DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-231-238

Competing interests. The author declare that there are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. The author contributed to this article. The author is solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by the author.

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Yakovlev G. A., Zulu M. Ch., 2020

Funding. The work was carried out without financial support.