УДК 681.5.017

Научная статья

Исследование гамма-фона в парках и зонах отдыха города Петропавловска-Камчатского

З. И. Сидоров¹, Р. И. Паровик², А. В. Вуколов¹, В. С. Яковлева¹

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

² Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга,
г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4, 683032, Россия

E-mail: zaxsid70@yandex.ru

Работа посвящена исследованию гамма-фона в городской среде Петропавловска-Камчатского (Камчатский край), а именно в парках и зонах отдыха. Измерения мощности поглощенной дозы проводились на разработанном коллективном Томского политехнического университета (ТПУ) дозиметре с использованием органического сцинтиллятора ВС-408, который является схожим по техническим характеристикам с БДКГ-01. С целью вычисления поправочного коэффициента для перевода показаний дозиметра из имп/с в нЗв/ч был проведен ряд калибровочных измерений с точечными источниками гамма-излучения – ^{60}Co и ^{137}Cs . Разработанным дозиметром проводились измерения длительностью не менее 5 минут в различных районах города Петропавловска-Камчатского, особое внимание уделялось исследованию объектов техносферы из материалов, являющимися природными источниками повышенного гамма-излучения. Исследования показали, что памятник В. И. Ленину и стела «Город воинской славы» в центре города Петропавловска-Камчатского содержат граниты у их основания, которые дают завышенный гамма-фон.

Ключевые слова: гамма-фон, дозиметр, спектрометрия, среднегодовая эффективная доза, памятники Петропавловска-Камчатского.

DOI: 10.26117/2079-6641-2021-37-4-183-202

Поступила в редакцию: 04.11.2021

В окончательном варианте: 14.12.2021

Для цитирования. Сидоров З.И., Паровик Р.И., Вуколов А.В., Яковлева В.С. Исследование гамма-фона в парках и зонах отдыха города Петропавловска-Камчатского // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2021. Т. 37. № 4. С. 183-202. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-37-4-183-202

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

© Сидоров З. И. и др., 2021

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Томского политехнического университета.

Введение

Ионизирующее иллучение окружает каждого человека повсеместно, поглощаясь в его органах и тканях. Дозовые пределы внешнего облучения гамма-излучением для населения регламентируются только касательно естественных источников, таких как космическое излучение и излучение от радионуклидов, содержащихся в земле [1]-[3]. Однако для жителей городской среды дополнительным источником облучения являются объекты техносферы [4]. Таким образом, обследование гамма-фона в городской среде является важным аспектом в вопросе радиологической защиты населения. Методы исследования ионизирующих излучений описаны в работах [5]-[8].

В настоящей работе с помощью сцинтилляционного дозиметра, собранного в ТПУ по аналогии с работой [4], было проведено исследование гамма-фона в городе воинской славы Петропавловске-Камчатском в районах парков и зон отдыха. Исследовались популярные для посещения горожанами и туристами памятники и монументы города, которые содержали гранит – основной источник гамма-фона, а также были взяты некоторые его образцы для спектрометрического анализа. Необходимо отметить, что такого масштабного исследования гамма-фона различных культурных и памятных объектов в Петропавловске-Камчатском еще не проводилось. Этот факт определяет новизну, проведенных исследований.

Устройство и компоненты разработанного дозиметра

Функциональная схема разработанного сцинтилляционного дозиметра представлена на рис. 1.

Рис. 1. Функциональная схема разработанного сцинтилляционного дозиметра: 1 – сцинтилляционный кристалл; 2 – ФЭУ-110; 3 – делитель напряжения; 4 – источник питания высокого напряжения; 5 – усилитель; 6 – компаратор; 7 – стабилизатор; 8 – счетчик; 9 – ЖК-экран

Дозиметр включает в себя сцинтилляционный кристалл ВС-408 на основе поливинилтолуола, соединенный с фотоэлектронным умножителем ФЭУ-110, между кристаллом и ФЭУ нанесен тонкий равномерный слой оптического геля для минимизации преломления света при переходе из одного материала в другой, делитель напряжения, представляющий собой каскад резистивных элементов, источник питания высокого напряжения, аккумулятор 12 В и схему управления. Схема управления реализована на базе Arduino Uno с дополнительным шилдом, на

который установлены усилитель, стабилизатор, компаратор, SD-карта, ЖК-экран и вспомогательные элементы.

Основные технические характеристики сцинтилляционного органического кристалла ВС-408 приведены в табл. 1. Данный кристалл отлично подходит для измерения гамма-излучения [9].

Таблица 1

Основные характеристики кристалла ВС-408

Сцинтилляционные свойства	Значение
Световой выход (относительно антрацена), %	64
Время нарастания, нс	0,9
Время затухания, нс	2,1
Ширина импульса, нс	2,5
Длина волны максимального излучения, нм	425
Диапазон энергетической чувствительности, МэВ	0,1...5

Фотоэлектронный умножитель «ФЭУ-110» (рис. 2) необходим для преобразования световых вспышек видимой и ближней инфракрасной частей спектра в электрические импульсы. Фотокатод – полупрозрачный сурьмяно-натриево-калиево-цезиевый. Диаметр рабочей площади фотокатода – 60 мм, число каскадов усиления – 12, масса – 200 г, оформление стеклянное, бесцокольное [10].

Рис. 2. Фотоэлектронный умножитель «ФЭУ-110»: а) фото ФЭУ; б) габаритный чертеж; в) каскады усиления

Основные характеристики ФЭУ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные характеристики ФЭУ-110

Характеристика	Значение
Область максимальной спектральной чувствительности, нм	420 – 520
Чувствительность фотокатода, мкА/лм	≥ 80
Анодная чувствительность, А/лм	10
Ток анода, мА	≤ 10
Темновой ток, мА	≤ 6
Напряжение питания, кВ	≤ 2
Напряжение анода, В	≤ 80
Нестабильность, %	$\leq 2,5$

На рис. 3 изображен делитель напряжения и его электрическая схема для обеспечения работы ФЭУ в импульсном режиме.

Рис. 3. Делитель напряжения и его электрическая схема

Для разработанного радиометра оптимальное напряжение питания ФЭУ было подобрано эмпирическим путем, оно составляет 1200 В. Для преобразования 12 В в 1200 В используется источник питания высокого напряжения (рис. 4), его основные характеристики приведены в табл. 3 [11].

Рис. 4. Источник питания высокого напряжения

Таблица 3

Основные характеристики источника питания высокого напряжения

Характеристика	Минимум	Максимум
Напряжение питания, V_{cc}	+4,5 В	+12 В
Регулирующее напряжение, V_{contr}	0 В	+2,5 В
Выходное напряжение, V_{out}	-200 В	-2450 В

Напряжение питания подается на источник питания высокого напряжения с аккумулятора 12 В, однако значение 12 В не является постоянным и варьируется в зависимости от заряда аккумулятора от 9 В до 13,5 В. Источник питания высокого напряжения очень чувствителен к таким флуктуациям входного напряжения, что, конечно, отражается на выходном высоком напряжении. Поэтому для обеспечения постоянного напряжения 1200 В и стабильной работы ФЭУ необходимо установить стабилизатор напряжения питания источника высокого напряжения. На рис. 5 представлена схема стабилизатора напряжения «L7809».

Рис. 5. Принципиальная схема стабилизатора напряжения

На рис. 6 изображена принципиальная схема блока усиления.

Рис. 6. Принципиальная схема блока усиления

Данная схема, содержащая усилитель и компаратор позволяет преобразовать отрицательные пилообразные импульсы напряжением около 50 мВ на выходе с ФЭУ в положительные прямоугольные импульсы напряжением 5 В, которые могут быть легко зарегистрированы счетчиком (рис. 7).

Рис. 7. Форма выходных импульсов до и после усиления

Управление дозиметром осуществляется с помощью трех кнопок: кнопка вкл/выкл; кнопка записи данных с экрана на SD-карту; кнопка вызова данных из памяти. Время одного измерения составляет 5 с, соответственно, обновление данных на экране происходит так же каждые 5 с. Схема подключения кнопок управления и ЖК-экрана представлена на рис. 8 [12].

Рис. 8. Схема подключения кнопок управления и ЖК-экрана

Корпусом дозиметра является пластиковая труба, внешний вид собранного детектора представлен на рис. 9.

Рис. 9. Разработанный дозиметр в собранном виде: 1 – кнопка вкл/выкл; 2, 3 – кнопки управления; 4 – ЖК-экран; 5 – порт для подключения к Arduino; 6 – порт для зарядного устройства

Методика исследования гамма-фона

Для исследования гамма-фона в городской среде Петропавловска-Камчатского выбрано несколько локаций с повышенной концентрацией объектов техносферы, выполненных из материалов, содержащих природные радиоактивные изотопы. В данных локациях измерялся радиоактивный фон на значительном расстоянии от объектов техносферы, после чего проводилось измерение амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения непосредственно вблизи выбранных объектов. После чего рассчитывалась среднегодовая эффективная доза и оценивался радиационно-индуцированный риск рака в течение жизни. Рассчитанные среднегодовые эффективные дозы сравнивались с нормируемым НРБ-99/2009 пределом доз для населения, а также со среднемировым показателем [13].

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 [4].

$$AEDE(\text{мЗв/год}) = ADR \cdot T \cdot DCF \cdot OF \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

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

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

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

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

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 [13, 14].

Результаты и их обсуждение

На рис. 10 красными точками обозначены места, в которых производилось измерение фонового излучения в центре города.

Рис. 10. Точки измерения гамма-фона в центре города Петропавловск-Камчатский

Точки измерения были выбраны таким образом, чтобы они находились приблизительно на одинаковом расстоянии от исследуемых объектов повышенного гамма-излучения, а именно – памятника В. С. Завойко, памятника В. И. Ленину, памятника апостолам Петру и Павлу, стеле «Город воинской славы». Среднее значение фоновой мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения в указанной области составило 27,90 нЗв/ч.

Для оценки вклада в гамма-фон от памятника В. С. Завойко (рис. 11) было выбрано 6 точек измерения, 4 из них непосредственно вблизи гранитного памятника, а 2 около скамеек, на расстоянии 8 метров от основания памятника. Наибольшее значение дозы зарегистрировано в точке 2, оно составило 114,4 нЗв/ч. Значения дозы возле скамеек снижаются почти до фоновой значения, характерного для данной локации (рис. 12).

Рис. 11. Расположение точек измерения гамма-фона у памятника В. С. Завойко

Рис. 12. Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска по формулам (1) и (2) для памятника В. С. Завойко

Точки измерения амбиентного эквивалента дозы от памятника В. И. Ленину выбирались так, чтобы оценить вклад от гранита разного исполнения. Пьедестал памятника выполнен из трех видов гранита различного состава, это видно визуально (рис. 13). Наибольшее значение мощности дозы представлено в точках 2, 3 (рис. 14) и составляет около 140 нЗв/ч, что превышает фоновое значение данной локации в 4,5 раза. В точке 4, которая представлена гранитом отличающегося состава от гранита точек 2 и 3 также зафиксировано значительное превышение фона (в 3,8 раза). Представленная площадка часто является местом игр детей и сбора молодежи, что нежелательно, особенно для длительного времяпрепровождения.

Образцы серого и красного гранита были взяты для проведения гамма-спектрометрического анализа состава (рис. 15 и 16, табл. 4 и 5).

Рис. 13. Расположение точек измерения гамма-фона у памятника В. И. Ленину

Рис. 14. Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска по формулам (1) и (2) для памятника В. И. Ленину

Рис. 15. Гамма-спектр гранита красного цвета (точки 2, 3)

Таблица 4

Результаты анализа гамма-спектра гранита красного цвета (точки 2, 3)

Радиоактивное семейство	Нуклид	Энергия, кэВ	Период полураспада	Активность, Бк	Масса образца, г	Удельная активность, Бк/кг
Семейство тория (Th ²³²)	Ac ²²⁸	911,2	6,15 ч	30 ± 0,9	46,05	4,61·10 ⁴ ± 1,52·10 ³
		969,0				
	Pb ²¹²	238,6	10,64 ч	21 ± 1,2		
	Tl ²⁰⁸	583,2	3,05 мин	1160 ± 33,8		
		510,8				
		860,6				
Семейство радия (U ²³⁸)	Pb ²¹⁴	351,9	27,06 мин	260 ± 12,5		
		295,2				
	Bi ²¹⁴	609,3	19,90 мин	484 ± 16,6		
		1120,3				
–	K ⁴⁰	1460,8	1,25 г	164± 5,4		

Рис. 16. Гамма-спектр гранита серого цвета (точка 4)

Стела «Город воинской славы» (рис. 17) выполнена из двух видов гранита (коричневого и серого). Было выбрано по 2 точки измерения мощности дозы от каждого вида гранита. Из гистограмм на рис. 18 видно, что оба вида гранита значительно превышают гамма-фон, характерный для центра города. Коричневый гранит в среднем превышает фон в 4,4 раза, а серый – в 9,4 раз. Поэтому длительное нахождение людей на ступеньках данного объекта техносферы является также не желательным.

Таблица 5

Результаты анализа гамма-спектра гранита серого цвета (точка 4)

Радиоактивное семейство	Нуклид	Энергия, кэВ	Период полураспада	Активность, Бк	Масса образца, г	Удельная активность, Бк/кг
Семейство тория (Th ²³²)	Ac ²²⁸	911,2	6,15 ч	16 ± 0,5	6,25	1,83·10 ⁵ ± 6,57·10 ³
		969,0				
	Pb ²¹²	238,6	10,64 ч	7 ± 0,4		
	Tl ²⁰⁸	583,2	3,05 мин	519 ± 17,3		
		510,8				
		860,6				
Семейство радия (U ²³⁸)	Pb ²¹⁴	351,9	27,06 мин	150 ± 7,3		
		295,2				
	Bi ²¹⁴	609,3	19,90 мин	297 ± 10,5		
		1120,3				
–	K ⁴⁰	1460,8	1,25 г	154± 5,1		

Образец серого гранита был взят для дальнейшего проведения гамма-спектрометрического анализа с целью определения изотопного состава данного материала (рис. 19 и табл. 6).

Рис. 17. Расположение точек измерения гамма-фона у стелы «Город воинской славы»

Рис. 18. Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска у стелы «Город воинской славы»

Рис. 19. Гамма-спектр гранита серого цвета (точки 2, 4)

Таблица 6

Результаты анализа гамма-спектра гранита серого цвета (точки 2, 4)

Радиоактивное семейство	Нуклид	Энергия, кэВ	Период полураспада	Активность, Бк	Масса образца, г	Удельная активность, Бк/кг
Семейство тория (Th ²³²)	Ac ²²⁸	911,2	6,15 ч	21 ± 0,6	2,25	7,31·10 ⁵ ± 2,56·10 ⁴
		969,0				
	Pb ²¹²	238,6	10,64 ч	9 ± 0,5		
	Tl ²⁰⁸	583,2	3,05 мин	784 ± 25,1		
		510,8				
		860,6				
Семейство радия (U ²³⁸)	Pb ²¹⁴	351,9	27,06 мин	229 ± 11,0		
		295,2				
	Bi ²¹⁴	609,3	19,90 мин	450 ± 15,5		
		1120,3				
—	K ⁴⁰	1460,8	1,25 г	151± 4,9		

Мощность дозы гамма-излучения от пьедестала памятника святым Петру и Павлу (рис. 20) превышает фоновое значение в 3,8 раза (точка 1), а на расстоянии 50 см от пьедестала (точка 2) мощность дозы снижается до уровня близкого к фоновому значению, поэтому нахождение вблизи памятника не наносит заметного вреда организму человека (рис. 21).

Рис. 20. Расположение точек измерения гамма-фона у памятника святым Петру и Павлу

Рис. 21. Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска у памятника святым Петру и Павлу

На рис. 22 красными точками обозначены места, в которых проводилось измерение фонового излучения вблизи памятников Николаю Чудотворцу и Чарльзу

Кларку. Оно измерялось около скамеек, которые расположены в 10 м от основания памятника Николаю Чудотворцу и на тротуаре в 10 м от основания памятника Чарльзу Кларку.

Рис. 22. Точки измерения гамма-фона в локации, охватывающей памятники Николаю Чудотворцу и Чарльзу Кларку

При обследовании мощности дозы гамма-излучения у памятника Николаю Чудотворцу (рис. 23) наибольшее значение зарегистрировано от основания пьедестала памятника (точка 2), оно составило 90,7 нЗв/ч, что в 2,6 раза превышает фоновое значение, полученное в 10 м от основания памятника.

Рис. 23. Расположение точек измерения гамма-фона у памятника Николаю Чудотворцу

На расстоянии 50 см от основания памятника (точка 3) мощность дозы снижается до фонового значения, поэтому длительное нахождение людей на площади вокруг памятника Николаю Чудотворцу вреда для здоровья не представляет (рис. 24).

Рис. 24. Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска у памятника Николаю Чудотворцу

Памятник Чарльзу Кларку (рис. 25) выполнен из гранита двух видов – гранит основного монумента (точка 1) и облицовочный гранит (точки 2 и 4), материал пола (точка 3) внешне очень похож на облицовочный гранит, но значение мощности дозы в данной точке почти не отличается от фонового значения в 10 м от памятника, поэтому предположено, что пол выполнен из другого материала.

Рис. 25. Расположение точек измерения гамма-фона у памятника Чарльзу Кларку

По результатам измерения (рис. 26) наибольшей мощностью дозы обладает гранит основного монумента (точка 1), она составляет 170 нЗв/ч, что в 4 раза превышает фоновое значение для данной локации.

Рис. 26. Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска у памятника Чарльзу Кларку

Однако длительное пребывание людей у данного памятника маловероятно из-за отсутствия скамеек и малого расстояния от проезжей части, поэтому ущерб организму от памятника Чарльзу Кларку также маловероятен.

При обследовании гамма-фона вблизи монумента славы пограничникам (рис. 27), точка измерения гамма-фона выбрана вблизи скамеек в 20 м от основания монумента, значение мощности дозы доставило 42,3 нЗв/ч.

Рис. 27. Расположение точек измерения гамма-фона у монумента славы пограничникам

Значительное превышение значений мощности дозы над фоновым зарегистрировано в точках 2, 4, 6 и 7 (рис. 28).

Рис. 28. Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска у монумента славы пограничникам

Максимальное значение снято в точке 7 и составляет 117 нЗв/ч, что превышает фоновый показатель в 2,8 раза. На расстоянии в 50 см от основания монумента (точка 8) значение мощности дозы гамма-излучения снижается до фонового показателя.

Заключение

По полученным результатам можно сделать вывод, что большинство выбранных объектов не представляют угрозу организму человека, так как на расстоянии 50 см от данных объектов мощности доз снижаются до фоновых значений. Однако памятник В. И. Ленину и стела «Город воинской славы» окружены ступеньками, которые привлекают людей как место для длительного времяпрепровождения и отдыха, что не желательно, так как данные ступеньки выполнены из тех же материалов с повышенным содержанием природных источников гамма-излучения. В образцах данных материалов в результате гамма-спектрометрического анализа обнаружены дочерние продукты распада ториевого и радиевого радиоактивных семейств. Наибольшей объемной активностью обладает образец гранита серого цвета, взятый со стелы «Город воинской славы» – $7,31 \cdot 10^5 \pm 2,56 \cdot 10^4$ Бк/кг.

Необходимо отметить, что стела «Город воинской славы» является популярным местом отдыха горожан и туристов. В летнее время у подножия стелы проводят различные мероприятия, устраивает променады городской оркестр и др., а у подножия памятника В.И. Ленину обычно проводят мероприятия политического характера, митинги, собрания и т.д. Поэтому исходя из проведенного выше анализа, нежелательно находится длительное время у основания памятника В.И. Ленину и стелы «Город воинской славы».

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 литературы/References

1. Голубев Б. П. *Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений*, Учебное пособие. М.: Атомиздат, 1986. [Golubev B. P. *Dozimetriya i zashchita ot ioniziruyushchikh izlucheniye*, Uchebnoye posobiye. M.: Atomizdat, 1986 (In Russian)].
2. Машкович В. П., Кудрявцева А. В. *Защита от ионизирующих излучений*, Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1995. 496 с. [Mashkovich V. P., Kudryavtseva A. V. *Zashchita ot ioniziruyushchikh izlucheniye*, Spravochnik. M.: Energoatomizdat, 1995. 496 с. (In Russian)]
3. Иванов В. И. *Курс дозиметрии*, Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1988. 400 с. [Ivanov V. I. *Kurs dozimetrii*, Uchebnik dlya vuzov. M.: Energoatomizdat, 1988. 400 с. (In Russian)]
4. 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. [Yakovlev G. A., Zulu M. CH. Iskazheniye radiatsionnogo fona gorodskoy sredy vsledstviye agressivnogo vliyaniya tekhnosfery. 2 etap: parki i zony otdykha // *Vestnik KRAUNTS. Fiz.-mat. nauki*, 2020. Т. 33, № 4, С. 231 – 238 (In Russian)].
5. Бушуев А. В. *Методы измерения ядерных материалов*, Учебное пособие. М.: МИФИ, 2007. [Bushuyev A. V. *Metody izmereniya yadernykh materialov*, Uchebnoye posobiye. M.: MIFI, 2007 (In Russian)].
6. Бойко В. И., Силаев М. Е. *Методы и приборы для измерения ядерных и других радиоактивных материалов*, Учебное пособие. М.: МНТЦ «Ответственная наука», 2011. [Boyko V. I., Silayev M. Ye. *Metody i pribory dlya izmereniya yadernykh i drugikh radioaktivnykh materialov*, Uchebnoye posobiye. M.: MNTTS «Otvetsstvennaya nauka», 2011 (In Russian)].
7. Яковлева В. С. *Инструментальные методы радиационных измерений*, Учебное пособие. Томск: ТПУ, 2010. [Yakovleva V. S. *Instrumental'nyye metody radiatsionnykh izmereniy*, Uchebnoye posobiye. Tomsk: TPU, 2010 (In Russian)].
8. Яковлева В. С. *Методы измерения плотности потока радона и торона с поверхности пористых материалов*, Учебное пособие. Томск: ТПУ, 2011. [Yakovleva V. S. *Metody izmereniya plotnosti potoka radona i torona s poverkhnosti poristyykh materialov*, Uchebnoye posobiye. Tomsk: TPU, 2011 (In Russian)].
9. Пластиковые сцинтилляторы, [Электронный ресурс]. URL: <https://azimp.ru/catalogue/scintillator/35/> (дата обращения 15.04.21). [Plastikovyye stsintillyatory, [Elektronnyy resurs]. URL: <https://azimp.ru/catalogue/scintillator/35/> (data obrashcheniya 15.04.21) (In Russian)].
10. Фотоэлектронные умножители. Сцинтилляторы. Фотоэлементы, [Электронный ресурс]. URL: <https://istok2.com/catalog/11/> (дата обращения 15.04.21). [Fotoelektronnyye umnozhiteli. Stsintillyatory. Fotoelementy, [Elektronnyy resurs]. URL: <https://istok2.com/catalog/11/> (data obrashcheniya 15.04.21) (In Russian)].
11. *High voltage power supply for PMT or ionization chamber. Datasheet*, [Electronic resource]. URL: https://scintillators.ru/index_en_products.html (date of treatment 20.05.21).
12. Жидкокристаллический дисплей и Arduino, [Электронный ресурс]. URL: <https://arduino-diy.com/> (дата обращения 20.05.21). [Zhidkokristallicheskiy display i Arduino, [Elektronnyy resurs]. URL: <https://arduino-diy.com/> (data obrashcheniya 20.05.21) (In Russian)].
13. *Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009*, Санитарные нормы и правила СанПиН 2.6.1.2523-09, утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 года № 47. [Normy radiatsionnoy bezopasnosti NRB-99/2009, Sanitarnyye normy i pravila SanPiN 2.6.1.2523-09, utverzhdenyye postanovleniyem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossiyskoy Federatsii ot 7 iyulya 2009 goda No 47 (In Russian)].
14. 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 Kirklareli, Turkey // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2009. vol. 100, no. 1, pp. 49 – 53.

MSC 81V35

Research Article

Investigation of gamma background in parks and recreation areas of the city of Petropavlovsk-Kamchatsky

Z. I. Sidorov¹, R. I. Parovik², A. V. Vukolov¹, V. S. Yakovleva¹

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk, Lenin ave. 36, 634050, Russia

² Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatskiy, str. Pogranichnaya 4, 683032, Russia

E-mail: zaxsid70@yandex.ru

The work is devoted to the study of the gamma background in the urban environment of Petropavlovsk-Kamchatsky (Kamchatka Territory), namely in parks and recreation areas. Measurements of the absorbed dose rate were carried out on a scintillation organic dosimeter developed by the team of the Tomsk Polytechnic University (TPU), which is a more budgetary analogue of the BDKG-01. In order to calculate the correction factor for converting the dosimeter readings from impulses/s to nSv/h, a number of calibration measurements were carried out with point sources of gamma radiation – ^{60}Co and ^{137}Cs . The developed dosimeter carried out measurements with a duration of at least 5 minutes in various districts of the city of Petropavlovsk-Kamchatsky, special attention was paid to the study of technosphere objects made of materials that are natural sources of increased gamma radiation. Studies have shown that the monument to V. I. Lenin and the stele « City of Military Glory » in the center of the city of Petropavlovsk-Kamchatsky contain granites at their base, which give an overestimated gamma background.

Keywords: gamma background, dosimeter, spectrometry, average annual effective dose, monuments of Petropavlovsk-Kamchatsky.

DOI: 10.26117/2079-6641-2021-37-4-183-202

Original article submitted: 04.11.2021

Revision submitted: 14.12.2021

For citation. Sidorov Z. I., Parovik R. I., Vukolov A. V., Yakovleva V. S. Investigation of gamma background in parks and recreation areas of the city of Petropavlovsk-Kamchatsky. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2021, **37**: 4, 183-202. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-37-4-183-202

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

Contribution and Responsibility. All authors contributed to this article. Authors are solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by all authors.

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>)

© Sidorov Z. I., et al., 2021

Funding. This work was financially supported by the Tomsk Polytechnic University.