

СКОРОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ РАДОНА ИЗ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ (ГРУНТА, ПЕСКА, КИРПИЧЕЙ) АЗАД КАШМИРА, ПАКИСТАН

М. Рафик¹, С.Ю. Рахман², Т. Махмуд¹, С. Рахман³, Матиюллах⁴, С. Рехман⁵

¹Department of Physics University of Azad Jammu & Kashmir, Muzaffarabad, 13100, Azad Kashmir, Pakistan

²Department of Medical Physics, Nuclear Medicine, Oncology and Radiotherapy Institute (NORI), Islamabad, Pakistan

³SPAS Dte. SUPARCO HQs P.O. Box 8402, Pakistan

⁴Physics Division, PINSTECH, P.O. Nilore, Islamabad, Pakistan

⁵ISL Project, PAEC, Dera Ghazi Khan, Pakistan

Представлены результаты экспериментального исследования скорости выделения радона из образцов строительных материалов, добываемых на территории Музаффарабада и Ниилумской долины (Азад Кашмир, Пакистан). Целью исследования является оценка вклада строительных материалов в общее радоновое загрязнение жилых помещений на данной территории. В связи с этим из разных районов Музаффарабада и Ниилумской долины были отобраны образцы строительных материалов: грунта, песка, гравия и кирпича. После специальной подготовки материалы помещались в пластиковые контейнеры, внутри которых на расстоянии 25 см от поверхности образцов были установлены детекторы радона. После этого контейнеры герметично закрывали. После 80 дней выдержки детекторы CR-39 в течение 16 ч протравливали в 25 %-м растворе NaOH при 80 °С, а затем треки радиоактивного распада исследовались с помощью оптического микроскопа. Измеренные плотности этих треков отражают концентрации радона. Скорости выделения радона из грунта, гравия, песков и кирпичей изменялись в пределах от 171 ± 11 до 344 ± 11 , 168 ± 17 до 322 ± 11 , 366 ± 8 до 649 ± 8 и 184 ± 14 до 231 ± 14 мБк/м² · ч соответственно. Проведено сравнение этих данных с известными из литературы параметрами.

Скорость выделения радона, CR-39 детекторы, концентрация радона, радоновая служба, Пакистан.

RADON EXHALATION RATE FROM SOIL, SAND, BRICKS, AND SEDIMENTARY SAMPLES COLLECTED FROM AZAD KASHMIR, PAKISTAN

M. Rafique, S.U.Rahman, T. Mahmood, S. Rahman, Matiullah, and S. Rehman

Experimental results concerning the radon exhalation rate from samples of building materials which were collected from the districts of Muzaffarabad and Neelum Valley, Azad Kashmir, Pakistan are presented. The study aims at assessing the contribution of building materials toward the total indoor radon exposure to the inhabitants of the studied area. In this context, samples of building materials, namely, soil, sand, gravel aggregates, and bricks, were collected from different parts of the districts of Muzaffarabad and Neelum Valley. After processing, the samples were placed in plastic containers, and box type radon detectors were installed in it at heights of 25 cm above the surface of the samples. The containers were then hermetically sealed. After 80 days of exposure to radon, CR-39 detectors were etched in 25% NaOH at 80° C for 16 h and counted under an optical microscope. The measured track densities were related to radon concentrations. Radon exhalation rate from soil, gravel aggregates, sands, and bricks varied from 171 ± 11 to 344 ± 11 , 168 ± 17 to 322 ± 11 , 366 ± 8 to 649 ± 8 and 184 ± 14 to 231 ± 14 mBq/(m²·r), respectively. Present data have been compared with the published data for other parts of the world.

Radon exhalation rate, CR-39 detectors, radon concentration, radon survey, Pakistan

ВВЕДЕНИЕ

Уран и торий в той или иной концентрации присутствуют везде в земной коре. Эти радиоактивные элементы дают три ряда радиоактивного распада. Газ радон является одним из продуктов распада этих рядов. Он состоит из трех изотопов: ²²²Rn, называемый собственно радоном, который является продуктом распада ²³⁸U; ²²⁰Rn, называемый тороном, — продукт распада ²³²Th и ²¹⁹Rn, называемый актиноном, — продукт распада ²³⁵U. Период полураспада ²²²Rn — 3.82 дня, тогда как ²²⁰Rn (55.6 с) и ²¹⁹Rn (3.96 с) имеют намного меньшие периоды полураспада. Поэтому изотопы ²²⁰Rn и ²¹⁹Rn представляют значительно меньший интерес в экологических исследованиях. В научном обращении фигурирует в основном изотоп ²²²Rn, наиболее распространенный изотоп химического элемента радона [Nazaroff, Nero,

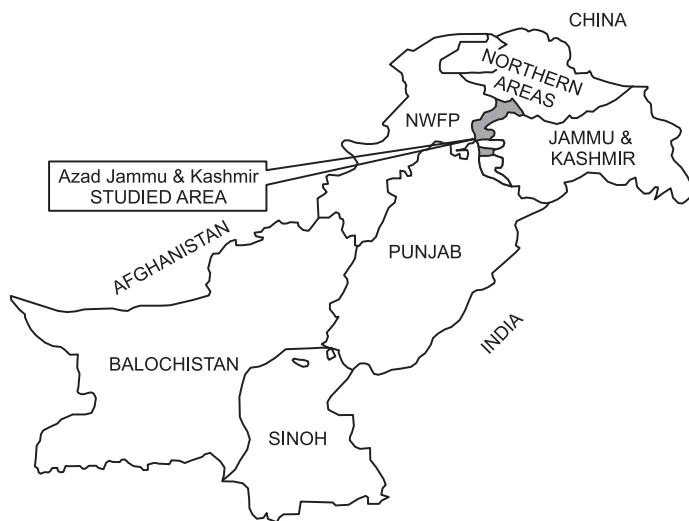


Рис. 1. Область исследования на территории Азад Джамму и Кашмир.

NWFP — Северо-Западная Пограничная провинция.

ких [Smith, 1988; Jacobi, 1988; Lubin, 1999]. Известно, что радиоактивное облучение радоном занимает второе после курения место среди главных причин возникновения рака легких [BEIR-VI, 1999]. Такие строительные материалы, как песок, грунт, кирпич и гравий, содержат в виде микропримеси ^{226}Ra , который генерирует радон. При этом только часть его может выделиться из связанного в твердом веществе состоянии и в результате диффузии из строительных блоков и последующей воздушной конвекции может оказаться в воздухе закрытых помещений. Количество радиоактивного излучения, выходящего из материала через единицу поверхности за единицу времени, обозначается как интенсивность радиации. Она зависит от концентрации в материале радиоактивных элементов, их радиационной способности и коэффициента диффузии радона в данном материале, а также от пористости и плотности этого материала.

Учитывая вред для здоровья, причиняемый радоновым излучением, для установления интенсивности радоновой радиации были проведены многочисленные исследования образцов гравия, песка, строительных материалов, урановых хвостов, урановых руд, гранитов [Abu-Jarad et al., 1980; Whittlestone et al., 1998; Sroor et al., 2001; Hafez et al., 2001; Oufni, 2003; Rahman et al., 2007]. Настоящая статья представляет результаты определения с помощью настроенных на радон детекторов CR-39 интенсивности радиации этого газа из строительных материалов (грунта, песка, кирпичей, гравия), отобранных на территории Ниилума (Neelum) и Музаффарабада (Muzaffarabad), Азад Кашмир, Пакистан. Область исследований показана на рис. 1.

Область исследования: география Музаффарабада и Ниилумской долины. Город Музаффарабад находится на $34^{\circ}20'16''$ с.ш. и $73^{\circ}30'33''$ в.д. (<http://pagenation.com/world/Muzaffarabad>). Музаффарабад является столицей провинции Азад Кашмир и расположен в области Музаффарабад на месте слияния рек Джелум и Ниилум. С запада от области Музаффарабад находится Северо-Западная Пограничная

Таблица 1. Температура и среднее количество осадков на исследуемой территории в 2008 г. (метеорологическая служба Пакистана)

Месяц	Температура, °C		Количество осадков, мм	Влажность, %	
	Средний максимум	Средний минимум		Утро (8 ч)	Вечер (17 ч)
Январь	13.2	1.1	2093	85	62
Февраль	18.6	4.9	674	78	45
Март	29.3	12.0	110	76	29
Апрель	27.6	14.0	1233	79	47
Май	35.3	18.6	1230	68	40
Июнь	34.9	22.0	3307	82	55
Июль	34.9	23.5	2566	83	56
Август	33.9	22.7	2240	85	57
Сентябрь	33.3	18.5	1328	80	45
Октябрь	31.6	15.0	304	81	44
Ноябрь	24.9	7.7	477	85	46
Декабрь	19.2	5.7	1458	89	57

провинция (СЗПП), с востока — области Купуара (Kupwara) и Барамулла (Baramulla) индийского штата Джамму и Кашмир, с севера — область Ниилум и Азад Кашмир. Город находится в 138 км от Равалпинди (Rawalpindi) и в 76 км от г. Абботтабад (Abbottabad), имеет 90 тыс. населения, окружен горами и расположен на высоте 1250 м над уровнем моря. Ниилумская долина имеет горный рельеф с высокой отметкой над уровнем моря. Абсолютная высота варьирует от 1050 м в Тисуале (Tithwal) (уровень реки) до 2000 м в Келе (Kel) (уровень реки) и до 4760 м на уровне Кагханского (Kaghan) водораздела, где находится оз. Раттапар (Rattapar). Ниилумская долина на западе ограничена высокими Кагханскими (Kaghan) водоразделом, который разделяет долины рек Кунхар (Kunhar) и Ниилум. Он имеет общую высоту над уровнем моря более 3650 м, причем многие вершины превышают отметку 4570 м. Климат долины горный, умеренно-влажный, с осадками, иногда в виде обильных снегопадов преимущественно в зимнее время. Долина имеет типичный речной ландшафт, однако вершины Кагханского хребта покрыты многочисленными ледниками, похожими на серповидные кары (в настоящее время некоторые из них превратились в озера). Район, находящийся севернее Аусмукама, за исключением самого высокогорья, довольно густо покрыт хвойными лесами.

Климатические условия. Исследуемая территория, находясь в зоне действия муссонов, имеет влажный климат. Небольшие различия во влажности и уровне осадков в разных областях обусловлены их разной высотой над уровнем моря. Зимы очень холодные, в летнее время очень жарко, и этот контраст к северу возрастает. Летом идут дожди, зимние осадки выпадают преимущественно в виде снега. В Музаффарабаде самый дождливый месяц — июль. Максимальная средняя температура 34,9 °С была зафиксирована в июне и июле, тогда как максимальная влажность 89 % — в декабре (табл. 1).

ГЕОЛОГИЯ МУЗАФФАРАБАДА И НИИЛУМСКОЙ ДОЛИНЫ

Данная область находится в центральной части Хазара-Кашмирского (Hazara Kashmir) синтаксиса, где имеются обнажения всех пород от докембрийского до современного возраста. Большая часть геологических формаций имеют хорошие обнажения вдоль дорог и небольших рек, однако геологическое строение прилегающей к городу территории скрыто под аллювиальным покровом толщиной от 200 до 400 м. Эта толща образована отложениями водных потоков. Только две реки в данной области (Джелум и Ниилум) текут круглый год, имея площадь водосбора 2810 и 9610 км² соответственно. Во время сезона дождей разлившиеся воды этих двух рек поднимают с поверхности обломки пород в виде крупных камней и илесто-песчано-галечной массы и сносят их с дренажной территории. Аллювиальные отложения здесь обычны, ими заполнена большая площадь долины.

Исследуемая территория находится под влиянием гималайского орогенеза, особенно Малых Гималаев и Предгималаев [Bossart et al., 1984; Greco, 1991]. Ее геология обусловлена тектонической активностью в данном регионе. Наиболее заметным и важным структурным элементом здесь является главный пограничный надвиг (ГПН). Он характеризуется изменением угла падения между крутопадающими зеленовато-серыми пластами пород Малых Гималаев (пуньяльские вулканиты), покрытых густым лесом, и более отлогими пластами, покрытыми красноватыми иссушенными почвами переотложенными из муррийских (Murree) песчаников, сланцев и аргиллитов Мури [Greco, 1991].

Джелумский разлом леволатеральный со смещением по простиранию [Baig, Lawrence, 1987]. Он прорезается из северо-западной части исследуемой территории, проходя через области: Шавай-Нала (Shawai-Nala), Хасан Гальян (Hassan Galian), Балак Бана (Balak Bana), Гойра (Gojra), Домел (Domel) и Амборе (Ambore). Имея обращенное относительно правильной стратиграфии наслоение пород, разлом образует контрастный топографический фронт. Докембрийская хазарская формация (Hazara) оказывается надвинутой на раннемиоценовую мурийскую формацию и четвертичные конгломераты. Джелумский разлом на данной территории имеет обнажения в областях Домел и Амборе.

Музаффарабадский разлом, иначе — Балакот-Багский (Balakot-Bagh), является активным [Baig, Lawrence, 1987; Baig, 2006; Yeats et al., 2006]. Его активность возобновилась во время землетрясения 8 октября 2005 г., проходившего от Шавай-Нала через Танду (Tanda) вплоть до Хун Банди (Khun Bandi). Кембрийская музаффарабадская формация надвинута на миоценовую мурреевскую формацию от области Шавай-Нала до области Хилла (Khilla). Разлом между нижне- и верхнемурреевскими формациями простирается от области Танда (Tanda) к области Хун Банди. Этот разлом смещает четвертичный аллювий вблизи областей Танда-Бота (Tanda-Botha), Кардала (Kardala), Лангарпура (Langarpura) и Папруса (Paprusa) [Baig, 2006].

Строительные характеристики. Образцы строительного сырья были отобраны из областей Музаффарабада и долины Ниилум. В качестве строительных материалов в этой местности используются кирпичи и блоки. Кирпичи изготавливаются из цемента и глины, тогда как блоки — из цемента, песка и гравия. Сырьем для гравия является доломит, известняк и смешанный материал из вал (сухих русел рек, оврагов и других заполняемых водой углублений). Доломит из музаффарабадской формации подвергают дроблению. Доломитовые камни состоят из доломита и кремнистого доломита. Обломки известняка

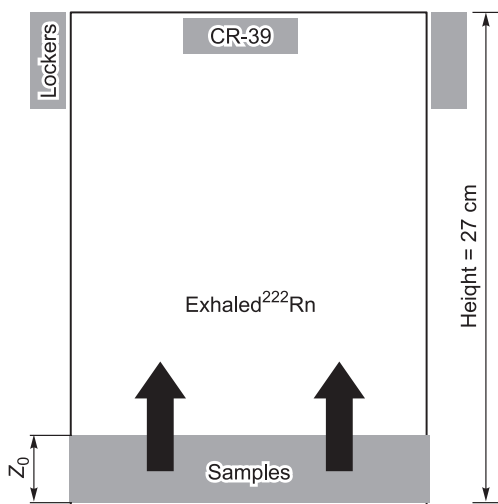


Рис. 2. Устройство для измерения скорости выделения радона.

Пояснения см. в тексте.

имеют текстуру в основном от нодулярной до массивной; материал взят из пород палеоцен-эоценового возраста. Известняк имеет все оттенки серого цвета. Осадочный материал из нал представлен различными минералами произвольных размеров и форм. Эти фракции были доставлены водой из подвергшихся эрозии формаций пород Музаффарабада, Хазары и Муррея. Осадочные породы нал содержат доломит (90—95 %), а также аспидный сланец, кварцит, песчаник, аргиллит и черный кремнистый сланец (5—10 %). Сырье берется в основном из Ниила Данди (Neela Dandi), Камзера (Kamser), Маакри (Maakri) и Шаваи-Нала и развозится во все уголки обеих областей. Песок берется на берегах рек Ниилум и Джелум. Некоторые дома строятся из илистой глины под деревянными крышами. В данной местности комнаты делают, как правило, с одним окном или вовсе без окон. Небольшое количество домов построено из одной только илистой глины. Эти дома плохо проветриваются.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОД

Для измерения интенсивности радиации радона из наиболее используемых в строительстве материалов, добываемых в областях Музаффарабада и Ниилумской долины, Азад Кашмир, использовали «закрытый» метод. Были исследованы следующие материалы: грунт (28 обр.), песок (11 обр.), гравий (7 обр.) и кирпичи (6 обр.). Образцы грунта отбирались на глубине 6 дюймов от поверхности земли, для уверенности в том, что присутствующие в грунте радионуклиды не исчезли в процессе выветривания. Образцы песка и гравия отбирались на побережье двух хорошо известных рек (Джелум и Ниилум), а также в районах Шаваи-Нала, Ниила Данди, Камзер и Маакри, откуда жители обеих областей берут песок и гравий для строительства своих домов. Образцы кирпичей для анализов были взяты у поставщиков. Следует отметить, что кирпич мало используется в строительстве, причем он привозится из Равалпинди и Харипура (Haripur).

Отобранные образцы дробили и сушили в течение 4—6 ч при 110 °С. Затем они (вес каждого составлял 500 г) были помещены в пластиковые контейнеры объемом $8.55 \cdot 10^3 \text{ см}^3$. Детекторы CR-39 закрытого типа были вмонтированы в контейнеры на высоте 25 см от поверхности образцов. Контейнеры затем герметично закрывали и оставляли в покое на 80 дней. После такой выдержки CR-39 детекторы были протравлены в 25%-м растворе NaOH при 80 °С в течение 16 ч, затем треки радиоактивного распада радона изучались с помощью оптического микроскопа. После вычета фонового излучения плотность треков была пересчитана на радиацию радона в единицах Бк/м³ при использовании калибровочного фактора $0.0092 \text{ треков}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч}) = 1 \text{ Бк}/\text{м}^3$ от ²²²Rn [Khan et al., 1991]. Чертеж экспериментальной установки для измерения выделения радона представлен на рис. 2.

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ РАДОНА

Скорость выделения радона для каждого образца определялась на основании следующих уравнений [Rehman et al., 2006], в которых концентрация радона — экспериментально найденная с помощью CR-39 детекторов величина.

Для вычисления скоростей выделения радона в уравнение (1) были подставлены концентрация радона и значения других параметров.

$$F_0 = \frac{C(t)[\omega A + \lambda V]}{A \left[1 - e^{-\left(\frac{\omega A}{V} + \lambda\right)t} \right]}, \quad (1)$$

$$F = F_0 - \omega C, \quad (2)$$

где A — площадь поверхности образца (см²), V — объем свободного пространства в закрытой камере, t — время накопления радона в ней, $\omega = \varepsilon \lambda Z_0$ — коэффициент обратной диффузии для данного материала.

ла, $C(t)$ — концентрация ^{222}Rn , вышедшего из образца на его поверхность, $F_0 = R\rho_b\lambda EZ_0$, Z_0 — толщина образца, λ — константа распада ^{222}Rn (ч^{-1}), ρ_b — плотность образца ($\text{кг}/\text{м}^3$), E — суммарный коэффициент выделений ^{222}Rn в воздухе, воде и твердой фазе ($E_{\text{воздух}} + E_{\text{вода}} + E_{\text{тв.}}$), R — радиоактивное излучение ^{226}Ra ($\text{Бк}/\text{кг}$).

Скорость выделения радона F_0 была определена путем подстановки значения $C(t)$ в уравнение (1). В замкнутой камере, в которой находится образец, концентрация ^{222}Rn увеличивается с течением времени выдержки. После достижения своего максимального значения происходит обратная диффузия радона из пространства камеры в образец, в результате чего концентрация ^{222}Rn в камере уменьшается на величину ω . Следовательно, скорректированная на обратную диффузию скорость выделения радона F определялась с помощью уравнения (2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выделение радона из строительных материалов повышает общее содержание радона в закрытых помещениях. Принимая во внимание опасность этого явления, соответствующие исследования широко проводятся; в литературе можно найти значительное число данных по этой проблеме. На рассматриваемой территории Пакистана большинство зданий строятся из блоков, изготавливаемых из смеси цемента, песка и гравия в определенных пропорциях. Некоторые дома были построены из кирпичей. Песок добывается на побережье двух рек (Ниилум и Джелум), тогда как гравий доставляется из Ниила Данди, Маакри, Шавай-Нала, Камзера и Ядгара (Yadgar). Скорости выделения радона из перечисленных образцов строительных материалов, отобранных в областях Ниилум и Джелум, представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Скорость выделения радона из образцов грунта, отобранных в Ниилумской, Джелумской долинах и г. Музаффарабад

№ образца	Место отбора проб	Выдержка, дни	Концентрация радона $\pm\text{CO}$, Бк/ м^3	Скорость выделения радона $\pm\text{CO}$, мБк/ $(\text{м}^2\cdot\text{ч})$
Грунт из провинции Музаффарабад				
1	Чехла (Chehla)	80	112 \pm 4	308 \pm 11
2	Лежачий бок надвига	80	70 \pm 5	193 \pm 14
3	Джелалабад	80	94 \pm 4	259 \pm 11
4	Ловер-Чаттер (Lower-Chatter)	80	95 \pm 4	261 \pm 11
5	Таракабад (Taraqabad)	80	99 \pm 4	272 \pm 11
6	Висячий бок надвига	80	76 \pm 5	209 \pm 14
7	Гойра (Gojra)	80	93 \pm 5	256 \pm 14
8	Висячий бок надвига	80	81 \pm 5	223 \pm 14
9	Налочи (Nalochi)	80	91 \pm 5	250 \pm 14
Грунт из Ниилумской долины				
10	Носахри (Nosahri)	80	125 \pm 4	344 \pm 11
11	Патика (Pattika)	80	114 \pm 4	314 \pm 11
12	Кахори-Базар (Kahori-Bazar)	80	107 \pm 4	294 \pm 11
13	Дани-Сайдан (Dhani-Syedan)	80	109 \pm 4	300 \pm 11
14	Пандж-Гараан (Panj-Garaan)	80	113 \pm 4	311 \pm 11
15	Атмукаам (Athmuqaam)	80	117 \pm 4	322 \pm 11
16	Джоора-Банди (Joora-Bandi)	80	104 \pm 4	286 \pm 11
17	Чехлияна (Chehliyana)	80	67 \pm 5	184 \pm 14
18	Кундал-Шахи (Kundal-Shahi)	80	108 \pm 4	297 \pm 11
Грунт из Джелумской долины				
19	Саран (Sarran)	80	105 \pm 4	289 \pm 11
20	Найли (Naili)	80	92 \pm 5	253 \pm 14
21	Чакоти (Chakothi)	80	66 \pm 5	182 \pm 14
22	Гари-Дупатта (Ghari-Dupatta)	80	112 \pm 4	308 \pm 14
23	Саван-Куча (Sawan-Kucha)	80	62 \pm 6	171 \pm 11
24	Лангерпура (Langerpura)	80	83 \pm 5	228 \pm 17

Окончание табл. 2

№ образца	Место отбора проб	Выдержка, дни	Концентрация радона ±CO, Бк/м ³	Скорость выделения радона ±CO, мБк/(м ² ·ч)
25	Хатьян-Бала (Hattian-Bala)	80	115 ± 4	316 ± 14
26	Хатьян-Дупатта (Hattian-Dupatta)	80	75 ± 5	206 ± 11
27	Ченари (Chenari)	80	86 ± 5	237 ± 14

СА и СГ скоростей выделения радона мБк/(м²·ч)

Образец (грунт)	СА	СГ
Провинция Музаффарабад	247	245
Джелумская долина	295	291
Ниилумская долина	243	238

Здесь и в табл. 3 и 4: CO — стандартное отклонение, СА — среднеарифметическое, СГ — среднегеометрическое.

Таблица 3. **Скорость выделения радона из песка, гравия и кирпичей, взятых из Ниилумской и Джелумской долин и Музаффарабада**

№ образца	Место отбора проб	Выдержка, дни	Концентрация радона, Бк/м ³	Скорость выделения радона ±CO, мБк/(м ² ·ч)
Песок из Музаффарабада и Ниилума				
1	Саван кучха (Sawan kuchha)	80	207 ± 3	569 ± 8
2	Дхани чикар (Dhani chikar)	80	134 ± 4	369 ± 11
3	Мэджхой (Majhoi)	80	133 ± 3	366 ± 8
4	Лангер пура (Langer pura)	80	163 ± 4	448 ± 11
5	Округ Гойра (Gojra police line)	80	236 ± 4	649 ± 8
6	Лоуренс пур (Lawerance pur)	80	161 ± 4	443 ± 11
7	Кундал Шаи (Kundal shai)	80	157 ± 4	432 ± 11
8	Шарда (Sharda)	80	144 ± 4	396 ± 11
9	Паттика (Pattika)	80	148 ± 3	407 ± 8
10	Нозери (Noseri)	80	150 ± 4	413 ± 11
11	Панджгран (Panjgran)	80	176 ± 4	484 ± 14
12	Бут-Манг (But-Mang)	80	221 ± 3	607 ± 8
Гравий из Музаффарабада и Ниилума				
13	Ниила Данди (Neela Dandi)	80	61 ± 6	168 ± 17
14	Камзар (Kamsar)	80	99 ± 5	272 ± 14
15	Ниила Данди (Neela Dandi)	80	95 ± 5	261 ± 14
16	Шаваи Нала (Shawai Nala)	80	98 ± 5	270 ± 11
17	Камзар (Kamsar)	80	91 ± 5	250 ± 14
18	Лала Атмукам (Lala Athmuqam)	80	116 ± 4	319 ± 11
19	Маакри (Maakri)	80	117 ± 4	322 ± 11
Кирпичи из Провинции Музаффарабад				
20	Таракабад-А (Taraqabad-A)	80	72 ± 5	198 ± 14
21	Челла-А (Chella-A)	80	84 ± 5	231 ± 14
22	Челла-Б (Chella-B)	80	67 ± 5	184 ± 14
23	Челла-С (Chella-C)	80	70 ± 5	193 ± 14
24	Таракабад-Б (Taraqabad-B)	80	81 ± 5	223 ± 14
25	Таракабад-С (Taraqabad-C)	80	75 ± 5	206 ± 14
СА и СГ скоростей выделения радона мБк/(м²·ч)				
Образец	СА	СГ		
Песок	452	446		
Гравий	266	262		
Кирпичи	206	205		

Образцы грунта были отобраны из г. Музаффарабад и Джелумской долины. Вычисленные значения скоростей выделения радона из образцов грунта находятся в пределах 193 ± 14 — 308 ± 11 , 184 ± 14 — 344 ± 11 и 171 ± 11 — 316 ± 14 мБк/(м²·ч) для г. Музаффарабад, долин Ниилума и Джелума соответственно. Максимальные и минимальные значения скоростей выделения радона из образцов, отобранных в Музаффарабаде, были установлены для района Чехла (Chehla) и лежащего бока надвига соответственно. Максимальные и минимальные значения скоростей выделения радона из образцов из Ниилумской долины были установлены для районов Ношари (Noshari) и Чехлияна (Chehliana) соответственно. В Джелумской долине максимальные и минимальные значения были установлены соответственно в Хаттьян-Бала (Hattian-Bala) и Саван-Куча (Sawan-Kucha). Как показано в табл. 2 и 3, были также рассчитаны среднеарифметическое, среднегеометрическое и геометрические стандартные отклонения. Значения среднеарифметических и среднегеометрических скоростей выделения радона из образцов грунта, отобранных в Музаффарабаде, Ниилумской и Джелумской долинах составляют 247, 295, 243 мБк/(м²·ч) и 245, 291, 238 мБк/(м²·ч) соответственно. В целом скорость выделения радона относительно выше в образцах грунта, взятых из Ниилумской долины.

В образцах песка, взятых из районов Музаффарабад и Ниилумской долины, скорость выделения радона изменяется от 366 ± 8 до 649 ± 8 мБк/(м²·ч). Максимальное значение скорости выделения радона было установлено для образцов, отобранных в районе Гойра г. Музаффарабад (649 ± 8 мБк/(м²·ч)), а минимальное — для образцов, отобранных в Маджои (Majhoi) (366 ± 8 мБк/(м²·ч)), в Джелумской долине. В обоих округах (Музаффарабад и Ниилумская долина) из кирпича построено мало домов. Кирпичи изготавливаются из глины и цемента и доставляются сюда из районов Харипура (Haripur) и Равалпинди. Образцы кирпича, взятые из района Чехла, были доставлены из Харипура, тогда как образцы, взятые из Таракабада (Tarakaabad), были привезены из района Равалпинди. В образцах кирпичей, скорость выделения радона изменялась от 184 ± 14 до 231 ± 14 мБк/(м²·ч). В образцах гравия скорость выделения радона изменялась в пределах от 168 ± 17 до 322 ± 11 мБк/(м²·ч). Минимальные и максимальные скорости выделения радона были найдены для образцов, взятых из Нила Данди и Маакри соответственно.

Среднеарифметические и среднегеометрические значения скорости выделения радона из образцов песка, гравия и кирпича, взятых в г. Музаффарабад, Ниилумской и Джелумской долинах, имеют соответственно значения 452, 266 и 206 мБк/(м²·ч). Скорость выделения радона относительно выше для образцов песка, чем для гравия и кирпичей.

Таблица 4. Сравнение полученных данных о скорости выделения радона с опубликованными

Источник	Место отбора проб	Средняя скорость выделения радона \pm СО (мБк/(м ² ·ч))
[Wilkening et al., 1974]	Нью Мексико, Техас	86 400, 36 000
[Auty, Preez, 1994]	Джабилука Майнвэлли	165 600
[Somashekarappa et al., 1996]	Кианага, Индия	111 600
[Todd et al., 1998]	Джабиру, Австралия	230 400
[Whittlestone et al., 1998]	Тасмания, Австралия	111 600
[UNSCEAR..., 2000]	Средняя по миру скорость выделения радона	57 600
[Hafez et al., 2001]	Египет	464
[Sroor et al., 2001]	Южный Египет	1411.08—59 436.25
[Evangilesta, Percira, 2002]	о. Короля Георга	5760
[Oufni, 2003]	Марокко	3—145
[El-Bahi, 2004]	Египет	Цемент (2549—7557)
[Singh et al., 2005]	Батхинда, Индия	246.63—1100.00
[Rehman et al., 2006]	Пакистан, Бахавалпур	Грунт (1.56—3.33) Песок (2.78—20.8)
[Rahman et al., 2007]	СЗПП, Пакистан	Песок, грунт, кирпичи (261, 265, 292)
[Mujahid et al., 2008]	Пакистан	Цемент (3.3 ± 0.7 — 8.1 ± 1.7)*
Данная работа	Азад Кашмир, Пакистан	Грунт (193 ± 11 — 108 ± 14) Песок (366 ± 8 — 649 ± 8) Гравий (168 ± 17 — 322 ± 11) Кирпичи (184 ± 14 — 231 ± 14)

* Измерено в 1/мБк·кг·ч.

Проведено сравнение полученных результатов с опубликованными данными (табл. 4). Отсюда видно, что скорость выделения радона изменяется от минимального значения 3–145 мБк/(м²·ч) [Qufni, 2003] до 230 400 мБк/(м²·ч), установленного для Джабури, Австралия [Todd et al., 1998]. В Пакистане опубликованные данные по скорости выделения радона находятся в диапазоне от 1.56 до 3.33 Бк/(м²·ч) для образцов грунта взятого из региона Бахавальпур (Bahawalpur) и от 2.49 до 4.66 Бк/(м²·ч) из Северо-Западной Пограничной провинции [Rehman et al., 2006]; скорость выделения радона из песка изменяется в диапазоне от 2.78 до 20.8 Бк/(м²·ч) в Бахавальпуре и от 0.99 до 4.2 Бк/(м²·ч) в СЗПП. Для других частей СЗПП и районов ФУПТ (Федерально управляемые племенные территории) скорость выделения радона для образцов грунта, песка и кирпича доложена равной 261, 265 и 292 мБк/(м²·ч) соответственно [Rahman et al., 2007]. В настоящей работе скорости выделения радона из строительных материалов (грунта, песка, гравия и кирпичей) Азад Кашмира находятся соответственно в диапазонах 193±11—308±14, 366±8—649±8, 168±17—322±11, 184±14—231±14 мБк/(м²·ч). Эти значения сравнимы с данными [Rehman et al., 2006; Rahman et al., 2007], но значительно меньше известных из литературы UNSCEAR [2000] [Wilkening et al., 1974; Auty, Preez, 1994; Somashekarappa et al., 1996; Todd et al., 1998; Evangilesta et al., 2002].

ВЫВОД

Таким образом, для оценки возможного облучения радоном в жилых помещениях населения Азад Кашмира были определены скорости выделения этого газа из местных строительных материалов (песка, грунта, гравия и кирпичей). Результаты исследования показывают, что скорость выделения радона из песка несколько больше, чем из грунта, гравия и кирпичей. В целом скорость выделения радона из изученных строительных материалов низка и они, таким образом, являются пригодными для строительства.

ЛИТЕРАТУРА

- Abu-Jarad F., Fremlin J.H., Bull R.** A study of radon emitted from building materials using plastic track detectors // *Phys. Med. Biol.*, 1980, v. 25(4), p. 683—694.
- Auty R., Preez H.D.** Preliminary background radon and radon progeny concentrations at Nort Ranger // Radon & radon progeny measurements in Australia, Canberra. 18 February, 1994. Supervising Scientist for the Alligator rivers region, 1994, p. 65—70.
- Baig M.S., Lawrence R.D.** Precambrian to Early Paleozoic orogenesis in the Himalaya // *Kashmir J. Geol.*, 1987, v. 5, p. 1—22.
- Baig M.S.** Active faulting and earthquake deformation in Hazara-Kashmir Syntaxis, Azad Kashmir, Northwest Himalaya, Pakistan // Extended abstracts, International conference on 8th October 2005 Earthquake in Pakistan, its implications and hazard mitigation, 18—19 January 2006, Islamabad, 2006, p. 27—28.
- BEIR VI.** Health effects of exposure to radon: BEIR VI Committee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR-VI), National Research Council, 1999, p. 516.
- Bossart P., Dietrich D., Greco A., Ottiger R., Ramasay J.G.** A new structural interpretation of the Hazara Kashmir Syntaxis, Southern Himalayas // *Kash J. Geol.*, 1984, v. 2, p. 19—35.
- El-Bahi S.M.** Assessment of radioactivity and radon exhalation rate in Egyptian cement // *Health Phys.*, 2004, v. 86(5), p. 517—522.
- Evangilesta H., Pereira E.B.** Radon flux at king George Island, Antarctic Peninsula // *J. Environmental Radioactivity*, 2002, v. 61, p. 283—304.
- Greco A.** Stratigraphy metamorphism and tectonics of the Hazara-Kashmir syntaxis area // *Kash J. Geol.*, 1991, v. 8, № 9, p. 39—65.
- Hafez A.F., Hussein A.S., Rasheed N.M.** A study of radon and thoron release from Egyptian building materials using polymeric nuclear track detectors // *J. App. Radiat. Isotopes*, 2001, v. 54, p. 291—298.
<http://pagenation.com/world/Muzaffarabad>
- Jacobi W.** Lung cancer risk from environmental exposure to radon daughters // *Radiation Protection Dosimetry*, 1988, v. 24, p. 19
- Khan E.U., Tufail M., Tahseen R., Din N.A., Matiullah, Ansari F., Hao H.X., Wang Y.L., Guo S.L., Waheed A.** Environmental radioactivity in D.I. Khan and its adjacent areas — Pakistan // *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 1991, v. 19, p. 761—764.
- Lubin J.** Discussion: indoor radon and risk of lung cancer // *Rad. Res.*, 1999, v. 151, p. 105—106.
- Matiullah, Bashir, Yang A.X., Ahmed A.** Recent studies on radon — a measure of living standard // *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 1993, v. 22, p. 399—402.
- Mujahid S.A., Rahim A., Hussain S., Farooq M.** Measurement of natural radioactivity and radon exhalation rates from different brands of cement used in Pakistan // *Radiation Protection Dosimetry*, 2008, v. 130 (2), p. 206—212.

Nazaroff W.W., Nero A.V. Radon and its decay products in indoor air. John Wiley and Sons, New York, 1988, 518 p.

Oufni L. Determination of the radon diffusion coefficient and radon exhalation rate in Moroccan Quaternary samples using the SSNTD technique // J. Radioanal. Nucl. Chem., 2003, v. 256(3), p. 581—586.

Rahman S., Mati N., Matiullah, Ghauri B. Radon exhalation rate from the soil, sand and brick samples collected from NWFP and FATA, PAKISTAN // Radiation Protection Dosimetry, 2007, v. 124(4), p. 392—399.

Rehman S., Matiullah, Rehman S., Rahman S. Studying ^{222}Rn exhalation rate from soil and sand samples using CR-39 detector // Radiat. Meas., 2006, v. 41(6), p. 708—713.

Singh S., Kumar M., Mahajan R.K. The study of indoor radon in dwellings of Bathinda district, Punjab, India and its correlation with uranium and radon exhalation rate in soil // Radiat. Meas., 2005, v. 39, p. 535—542.

Smith H. ICRP Publication 50 Lung cancer risk from indoor exposures to radon daughters // J. Canad. Assoc. Radiol., 1988, v. 39 (supplement 1), p. 144—147.

Somashekarappa H.M., Narayana Y., Radhakrishna A.P., Siddappa K., Joshi V.B., Kholekar R.V., Bhagwat A.M. Atmospheric radon levels and its emanation rate in the environment of Kaiga // Radiat. Meas., 1996, v. 26(1), p. 36—48.

Sroor A., El-Bahi S.M., Ahmed F., Abdel-Haleem A.S. Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt. Applied Radiation and Isotopes, 2001, v. 55, p. 873—879.

Todd R., Akber R., Martin P. ^{222}Rn and ^{220}Rn activity flux from the open ground in the vicinity of Ranger uranium mine. Internal report 279, Darwin, Supervising Scientist Division, 1998.

UNSCEAR-2000. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. ANNEX B Exposures from natural radiation sources, 2000.

Whittlestone S., Zahorowski W., Schery S.D. Radon flux variability with season and location in Tasmania, Australia // J. Radioanal. Nucl. Chem., 1998, v. 236 (1—2), p. 213—217.

Wilkening M.H., Clements W.E., Stanley D. ^{222}Rn flux in widely separated regions // The Natural Radiation Environment, 1974, v. 2, p. 717—730.

Yeats R.S., Parsons T., Hussain A., Yagi Y. Stress changes with the 8 October 2005 Kashmir earthquake, lessons for the future // Extended abstract, International conference on 8th October 2005 Earthquake in Pakistan, its implications and hazard mitigation, 18—19 January 2006, Islamabad, 2006, p. 16—17.

*Рекомендована к печати 16 ноября 2009 г.
Г.Н. Аношиным*

*Поступила в редакцию
14 августа 2009 г.*