Uzbek Journal of Physics

Vol.21(№5) 2019 PP.318-324

# ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ CR-39 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ И СКОРОСТИ ЭКСХАЛЯЦИИ РАДОНА-222 В ДОМАХ ТАШКЕНТА

**А. Васидов, С.О. Васидова**

Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан
(Получена 23.01.2019)

Мақоланинг асосий мақсади CR-39 изли детекторларидан фойдаланиб янги икки ва уч қаватли уйлардаги Rn-222 активлигини қиш ва ёз фаслида ўлчаш, яшовчиларнинг радон туфайли оладиган йиллик эффектив дозасини ҳисоблаш, уйларнинг тупроғи, қурилиш материаллари ва девор юзаларидан чиқаётган радон тезлигини аниқлашдир. Ўлчов натижаларига кўра, баъзи уйлардаги радон ҳажмий активлиги ва йиллик эффектив дозалари назорат меёр қийматидан катталиги қайд қилинди. Тупроқ қурилиш материаллари ва уй деворлари юзасидан чиқаётган радон тезлигининг қийматлари назорат меёридан камлиги аниқланди.

Целью данной работы является измерение объемной активности радона трековыми детекторами типа CR-39 в новых двух и трехэтажных домах Ташкента в зимнее и летнее время, оценка ежегодной эффективной дозы, получаемой жителями дома от радона и его дочерних продуктов распада, определение скорости эксхаляции радона с поверхности почв, строительных материалов и стен домов. Полученные результаты показали, что среднее значение объемной активности радона и соответствующая ежегодная эффективная доза в некоторых исследованных домах превышает предельно допустимую концентрацию и дозу. Значения скорости эксхаляции радона с поверхности почв, строительных материалов и стен домов находятся значительно ниже установленной нормы по радиационной безопасности.

The main aim of this work is to carry out measurements of radon and its daughter product's activity in newly-built two- and three-storeyed houses in winter and summer seasons, an assessment of annual effective doses received with residents and determination of radon exhalation rates from soils, building materials and walls of houses. The measurements are carried out with using CR-39 detectors. The results of measurements are shown, that the mean values of indoor radon activities and annual effective doses in houses were more than permissible limit. The values of radon exhalation rate from soils, building materials and walls have low values then radiation safety standard.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Ранее были проведены сезонные измерения объемной активности радона-222 (ОАР) в одноэтажных и многоэтажных домах Ташкента с использованием ядерных твердотельных трековых детекторов (ЯТТД) типа CR-39 [1]. Многие дома были построены из необожженного кирпича или каркасным способом, где пустоты между деревянными каркасами заполнены глиной. В работе [2] также были определены значения скорости эксхаляции радона-222 (СЭР) с поверхности строительных материалов и стен комнат. Полученные результаты показали, что значения ОАР и СЭР намного больше в домах, построенных из необожженного кирпича и каркасным способом, чем в домах, построенных из бетона и обожженного кирпича [1, 2].

В последние годы прослеживается рост частного сектора в Ташкенте, большинство частных домов составляют двух- и трехэтажные особняки с

помещениями для сауны или спортивных занятий. Согласно требованиям НРБ-2006 РУз [3], предельно допустимая концентрация радона-222 (или ОАР) в помещениях не должна превышать 200 Бк/м$^3$, а ежегодная эффективная доза ≤5 мЗв/год, скорость эксхаляции радона-222 с поверхности земли не должна превышать 288 Бк/м$^2$ч. Как известно, более 50% ежегодной радиоактивной дозы, получаемой людьми, приходится на долю радона-222 и его дочерних продуктов распада (ДПР). Количественное увеличение частных домов и применение различных природных материалов в домостроительстве, требует сохранения и обеспечения радоновой безопасности в новых частных домах Ташкента.

Основной целью данной работы является: измерение объемной активности радона в новых домах в зимнее и летнее время года, оценка ежегодной эффективной дозы, получаемой жителями дома от радона и его дочерних продуктов распада, определение скорости эксхаляции радона с поверхности земли, строительных материалов и стен домов.

## II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

**Методы измерения с помощью ядерных твердотельных трековых детекторов типа CR-39.**

Измерения проводили с использованием метода пассивного детектирования наиболее практичным детектором CR-39, отличающегося от других ЯТТД по чувствительности и эффективности регистрации [4]. Прозрачные CR-39 детекторы толщиной 0.70 мм и площадью 25×25 мм$^2$ с серийными номерами, выгравированными в правом нижнем углу для облегчения идентификации, были установлены внутри цилиндрических пластиковых камер. На рис. 1 приведены схематические изображения экспозиционных камер для измерения ОАР в воздухе помещений с объемом $V_1$=148 см$^3$ (∅=5.2см и $h$=7см) и с $V_2$=310 см$^3$ (∅=5.5 см, $h$=15см) для измерения СЭР.

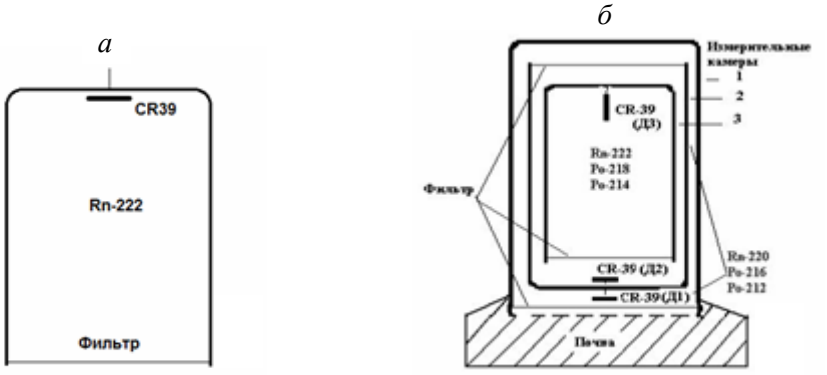



**Рис. 1.** Схематические виды экспозиционных камер для измерения ОАР (а). и СЭР (б).

Камеры для ОАР были установлены на расстоянии 200 см от пола и 50–60 см от поверхности стен и потолка для регистрации только Rn-222. В камере *б* был использован трехкамерный регистратор радона, который представляет собой три вставленные друг в друга пластиковые камеры с детекторами CR-39 [5]. Входные плоскости камер были закрыты бумажными фильтрами для ограничения входа ДПР и аэрозолей и установлены в противоположных направлениях для увеличения

расстояния и создания искусственных барьеров на пути $^{220}$Rn. Камеры плотно крепили на поверхности почв и/или исследуемого материала и/или стен, внешний круг камер герметично изолировали слоем пластилина или мягко прессовали, заполнив внешний круг гранулами в случае сыпучего материала.

После окончания экспозиции детекторы были удалены из камер для химического травления в растворе 6M NaOH при 70°C в течение 8–10 часов. После травления детекторы промывали в водопроводной воде в течение 20–25 мин и в дистиллированной воде 5–7 мин, а затем мокрые детекторы сушили горячим воздухом. Плотность треков α-частиц из CR-39 детектора подсчитывали на оптической установке, состоящей из оптического микроскопа и телекамеры, встроенных в компьютер. Плотность фона CR-39 детекторов находится в пределах 4.0–6.0 тр/см$^2$, что учтено при обработке результатов. Средние квадратичные ошибки метода составили ~20 и ~25% для ОАР и СЭР соответственно. При этом ошибки состояли из следующих вкладов: калибровочного коэффициента (КК) ≤15%, подсчета числа α-треков ≤12% и величины обратной диффузии радона ≤12% [5, 6].

**Формулы для определения и оценки объемной активности, ежегодной эффективной дозы и скорости эксхаляции радона-222.**

Значения КК для CR-39 камер ($V_1$) и ($V_2$) были определены заранее и равны $8.7\times10^{-3}$ и $6.7\times10^{-3}$ (тр/см$^2$ч)/(Бк/м$^3$) для ОАР и СЭР [4, 5] соответственно.

Значения ОАР были найдены из следующего соотношения [4]:

$$A = \rho/tКК, \quad (1)$$

А – значение ОАР, Бк/м$^3$, ρ – удельная плотность α-треков на единицу площади, тр/см$^2$, $t$ – время экспозиции, ч, КК – калибровочный коэффициент, тр/см$^2$ч/Бк/м$^3$.

Ежегодные эффективные дозы (ЕЭД), получаемые жителями домов, были найдены из следующей формулы [1, 7]:

$$ЕЭД = A_{ср}\cdot FTD, \quad (2)$$

где ЕЭД, мЗв/год; $A_{ср}$ – средние значения ОАР, Бк/м$^3$; $F$ – коэффициент равновесия, $F$ = 0.5; $T$ – время, проводимое в помещениях и подвале (сауне) в течение года, 6000 и 600 ч/год соответственно; $D$ – коэффициент преобразования в дозы, $D = 9\times10^{-6}$ мЗв/ч на 1 Бк/м$^3$ [7].

В [8] было введено понятие сезонного коэффициента СК для оценки и сравнения ОАР в зимнее и летнее время года, который определяется из соотношения:

$$СК = A/A_{ср}, \quad (3)$$

$$A_{ср} = (A_1 + A_2 + \ldots A_n)n^{-1}, \quad (4)$$

$A_1$, $A_2$, $A_n$ – значения ОАР для сезона, Бк/м$^3$; $n$ – количество измерений.

Значения СЭР определяли по формуле, предложенной в [6]:

$$E = A\cdot\lambda(V/S)\cdot K(t), \quad (5)$$

где $E$ – значение СЭР, Бк/м$^2$h; А – значение ОАР, Бк/м$^3$; λ – постоянная распада, час$^{-1}$; $V$ – объем камеры, м$^3$; $S$ – входная площадь камеры, м$^2$; $K(t)$ – эффективное время, определяемое по формуле:

$$K(t) = t/[t-(1-e-\lambda t)/\lambda], \quad (6)$$

где $t$ – время экспозиции, час.

## III. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Результаты измерений объемной активности радона и ежегодных эффективных доз.**

В табл. 1 приведены значения ОАР и ЕЭД, измеренные в зимний ($А_{зима}$) и летний ($А_{лето}$) сезоны года CR-39 детекторами в различных помещениях домов. При определении вариаций сезонного коэффициента (СК) и оценке ЕЭД были использованы средние значения ОАР.

**Таблица 1.** Значения ОАР (объемной активности радона) и ЕЭД (ежегодных эффективных доз) в новых домах Ташкента.

| № | Тип комнат | $А_{зима}$, Бк/м$^3$ | $А_{лето}$, Бк/м$^3$ | $А_{ср}$, Бк/м$^3$ | ЕЭД, мЗв/год |
|---|---|---|---|---|---|
| I. | зал | 195.4 | 125.2 | 160.3 | 4.32 |
| | кухня | 294.3 | 270.5 | 282.4 | 7.62 |
| | спальня | 125.5 | 147.3 | 136.4 | 3.68 |
| | подвал | 294.3 | 270.0 | 282.2 | 0.76 |
| II. | зал | 85.0 | 92.6 | 88.2 | 2.38 |
| | кухня | 250.0 | 332.3 | 291.2 | 7.86 |
| | спальня | 71.0 | 53.1 | 62.1 | 1.67 |
| | подвал | 72.3 | 61.7 | 67.0 | 0.18 |
| | сауна | 535.2 | 356.8 | 446.0 | 1.20 |
| III. | зал | 72.1 | 133.5 | 102.8 | 2.77 |
| | кухня | 120.5 | 112.3 | 116.4 | 3.14 |
| | спальня | 91.8 | 79.4 | 85.6 | 2.31 |
| | подвал | 94.2 | 93.2 | 93.7 | 0.25 |
| IV. | зал | 95.3 | 110.3 | 102.8 | 2.77 |
| | кухня | 81.9 | 121.7 | 101.8 | 2.74 |
| | спальня | 80.7 | 102.7 | 91.7 | 2.47 |
| | подвал | 76.3 | 135.5 | 105.9 | 0.28 |
| V. | зал | 284.4 | 309.1 | 296.7 | 8.00 |
| | кухня | 242.4 | 223.5 | 233.0 | 6.29 |
| | спальня | 455.4 | 368.1 | 411.7 | 11.12 |
| | подвал | 923.3 | 953.1 | 938.2 | 2.53 |
| VI. | зал | 191.8 | 189.6 | 190.7 | 5.14 |
| | кухня | 370.7 | 250.9 | 310.8 | 8.40 |
| | спальня | 177.4 | 176.2 | 176.8 | 4.77 |
| | подвал | 245.5 | 261.3 | 253.4 | 0.68 |
| VII. | зал | 196.3 | 201.7 | 199.0 | 5.37 |
| | кухня | 446.8 | 225.1 | 336.0 | 9.10 |
| | спальня | 314.4 | 323.1 | 318.7 | 8.60 |
| VIII. | зал | 81.1 | 78.4 | 79.7 | 2.15 |
| | кухня | 198.6 | 160.2 | 179.4 | 4.84 |
| | спальня | 172.7 | 112.3 | 142.5 | 3.84 |
| IX. | зал | 130.4 | 155.2 | 142.8 | 3.85 |
| | кухня | 112.1 | 61.8 | 87.0 | 2.34 |
| | спальня | 156.7 | 128.7 | 142.7 | 3.85 |

Из табл. 1 видно, что среднее значение ОАР больше в домах, где имеются подвалы, и находится в пределах от 62 до 411 Бк/м$^3$. Фундаменты подвалов в домах II (67.0 Бк/м$^3$), III (93.7 Бк/м$^3$) и IV (105.9 Бк/м$^3$) имели хорошую изоляцию и сквозные окна для вентиляции. Средние значения ОАР в подвальных помещениях составили 282.2 Бк/м$^3$, 938.2 Бк/м$^3$ и 253 Бк/м$^3$ для домов I, V и VI соответственно. Из-за плохой вентиляции в сауне дома II величина ОАР составила соответственно летом и зимой 356.8 и 535.2 Бк/м$^3$. В двухэтажных домах VII-IX (без подвалов) средние значения ОАР варьировалась от 79.7 до 336 Бк/м$^3$. Значения ОАР в кухнях больше на 20%, чем значения ОАР в зале и спальне, эта разница объясняется вкладом радонового газа из воды и метанового газа. На рис. 2 показаны плотности $\alpha$-треков в сауне и спальне после экспозиции CR-39 детекторов.

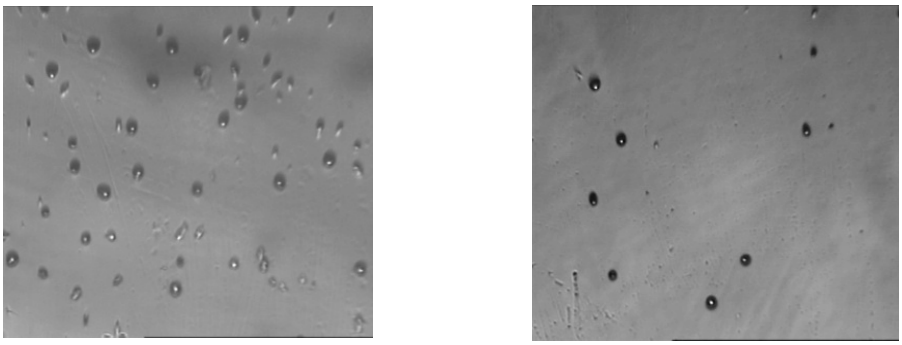


**Рис. 2.** Числа $\alpha$-треков в сауне (слева) и в спальне (справа) после экспозиции CR-39 детекторов.

Средние значения ОАР для всех домов составили 215.0 и 196.6 Бк/м$^3$ в зимнее и летнее время года соответственно. На рис. 3 представлена диаграмма вариации сезонных коэффициентов для гостиной, кухни и спальни.

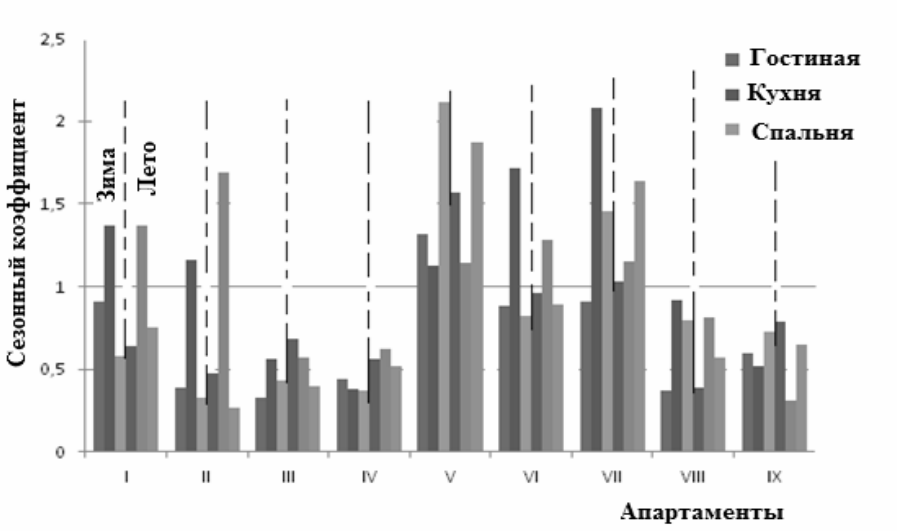



**Рис. 3.** Диаграмма вариации сезонных коэффициентов в домах зимой и летом.

Как видно, разница ОАР в сезонных значениях в основном незначительна и составляет 4–5%. Однако самый высокий СК 1.7–2 был найден для гостиной и спальни I и V домов летом, что на 20% выше, чем общий СК. Значения ЕЭД, получаемые жильцами домов варьировались в диапазоне от 1.67 до 11.12 мЗв/год. Дома с подвалами давали больше ЕЭД (до 11.12 мЗв/год), чем дома без подвалов (9.10 мЗв/год). Особенно в кухонных комнатах значения ЕЭД превышали в 2–5 раз допустимую дозу.

**Скорость эксхаляции радона с поверхности почв, стройматериалов и стен.**

Почва, строительные материалы и стены домов содержат некоторые концентрации $^{238}U$ и $^{226}Ra$, которые являются потенциальными излучателями радона-222. Значения СЭР мы определяли из почв (под домами), песка, глин, цемента, алебастра, бетона, стен из обожженного кирпича (ОЖК), оштукатуренной стены (ШТК), кафельной стены (КФ), стен, покрытых масляной краской (МК) и моющимися обоями (МОБ). В табл. 2 приведены экспериментальные значения СЭР с поверхности исследованных материалов.

**Таблица 2.** Величины СЭР с поверхности почв, строительных материалов и стен

| № | Материалы | Плотность, тр/см$^2$·дн | ОАР, Бк/м$^3$ | СЭР, Бк/м$^2$·ч |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Почва | 200–520 | 1490–3440 | 11.2–26.0 |
| 2. | Песок | 36–46 | 223.2–285.2 | 0.280–0.369 |
| 3. | Глина | 44–61 | 272.2–378.2 | 0.342–0.476 |
| 4. | Цемент | 8–11 | 49.6–68.2 | 0.062–0.085 |
| 5. | Алебастер | 7–9 | 43.4–55.8 | 0.054–0.073 |
| 6. | Бетон | 48–57 | 297.6–353.4 | 0.374–0.445 |
| 7. | ОЖК | 20–32 | 121.0–195.3 | 0.151–0.246 |
| 8. | ОЖК+ШТК | 29–31 | 179.8–192.2 | 0.226–0.241 |
| 9. | ОЖК+ШТК+КФ | 9–12 | 55.8–74.4 | 0.073–0.10 |
| 10. | ОЖК+ШТК+МК | 19–22 | 117.8–136.4 | 0.148–0.172 |
| 11. | ОЖК+ШТК+МОБ | 10–13 | 62.0–80.6 | 0.078–0.101 |
| 12. | Потолок | 28–32 | 173.6-186.0 | 0.218–0.234 |

Как показано в табл. 2, самое высокое значение СЭР для почв достигает 26 Бк/м$^2$ч, затем идет бетон 0.44 Бк/м$^2$ч, а среди зернистых материалов песок и глина имеют СЭР 0.37 и 0.48 Бк/м$^2$ч. СЭР из цемента и алебастра составляет 0.085 и 0.073 Бк/м$^2$ч. Таким образом, СЭР из почвы соответственно в 59.0, 70.3, 54.2, 306 и 356 раз больше, чем СЭР из бетона, песка, глины, цемента и алебастра. Разница в СЭР из стен из обожженного кирпича (0.15–0.25 Бк/м$^2$ч) и после ее штукатурки (0.23–0.24 Бк/м$^2$ч) незначительна. При покрытии поверхности стен кафелем, масляной краской и моющимися обоями отмечалось снижение значений СЭР на 25–30% и 50–60%. Значения СЭР для потолков домов – 0.218–0.234 Бк/м$^2$ч.

## IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение CR-39 детекторов при сезонных измерениях ОАР в домах Ташкента, а также при определении СЭР с поверхности почв, строительных материалов и стен домов показали высокую эффективность детектора CR-39 в

подобных измерениях. Сезонная разница в значениях ОАР незначительна и составляет всего 4–5%. Однако величины ОАР и ЕЭД в некоторых комнатах домов превышают значения предельно допустимой дозы в 2 и 3 раза. Как следует из экспериментов по определению СЭР, основным источником повышения уровня радона в домах является почва, где расположен дом. Характерной чертой результатов измерения является тот факт, что каждая комната дома имеет специфичную концентрацию радона.

**ЛИТЕРАТУРА**


1. А. Васидов, З. Ен, Т.С. Тиллаев, Экологические системы и приборы № 4, 35 (2006).
2. А. Васидов, Т.С. Тиллаев, Экологические системы и приборы № 12, 40 (2010).
3. СанПиГН РУз, №0193 (2006).
4. А. Васидов, С.М. Замятин, Узбек. физич. журн. **6**, 206 (2004).
5. A. Vasidov, J. Rad. Nucl Chem. **302**, 919 (2014).
6. M.I. Al-Jarallah, Fazal-ur-Rahman, Radiat. Meas. **34**, 491 (2001).
7. N. Sharma, H.S. Virk, Radiat. Meas. **34**, 505 (2001).
8. Said Rahman. Measurement of Seasonal and Spatial Variation of Indoor Rn and Development of a Passive Dosimeter for Tn (Pakistan, PIEAS, 2008).