

УДК 53.087

**ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ АЛЬФА-ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ В
ИССЛЕДОВАНИЯХ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА**

Еримбетова Дана

erimbetova.dana@gmail.com

Докторант 1 курса ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Жумадилов К.Ш.

Радон – невидимый радиоактивный газ без запаха, который возникает в результате естественного распада урана и торона в почве и горных породах. Первые эпидемиологические исследования радона и рака легких, проведенные среди шахтеров в 1950-х годах, подтвердили предположение о том что рак легких является профессиональным заболеванием работников шахт. Они установили, что радон является причиной рака легких в общей популяции, уступая по важности только курению [1]. Радиоактивный газ радон

поступает в жилые помещения через трещины в фундаменте, особенно в зимние месяцы, когда дома не проветриваются. Поскольку он растворим в воде, колодезная вода может быть источником бытового радона, однако большая часть воздействия радона на население в целом происходит через почвенные газы.

Существуют различные методы исследования концентрации радона. Метод основанный на использовании твердотельных альфа-трековых детекторов наиболее широко применяется в радоновых измерениях. Главным достоинством этого метода является возможность одновременного экспонирования нескольких детекторов и их централизованной химической обработки.

Принцип работы твердотельного ядерно-трекового детектора (ТТЯТД) основан на том факте, что тяжелая заряженная частица проходя через среду вызывает интенсивную ионизацию материала. В результате появляются узкие повреждения на уровне молекул вдоль их траектории. Размеры латентных треков, образованных тяжелыми ионами, очень малы (всего около 10 нм в диаметре) [2].

Характер радиационных повреждений, оставшихся после прохождения ионов через вещество, зависит от характеристик вещества: порядка атомов, тепловой и электрической проводимости, удельной теплоемкости и вида химической связи в веществе. Например, альфа-частица с энергией 6 МэВ создает около 150000 пар ионов в нитроцеллюлозе. Эффект трека существует во многих материалах. Это особенно заметно в материалах с длинными молекулами, таких как нитроцеллюлоза или различные поликарбонаты, и такие материалы являются наиболее удобными для применения и изготовления детекторов [3].

Классификация ТТЯТД по типам и области их применения приведены в таблице 1. Так же ТТЯТД можно разделить на встречающиеся в природе детекторы (полевой шпат, слюда, кварц и т.д.) и искусственные детекторы (например, CR-39, CN-85, LR-115 и т.д.) [4].

Для измерения концентрации радона в качестве твердотельного альфа-трекового детектора (ТТЯТД) чаще всего используются пленки LR-115 (нитрат целлюлозы) и CR-39 (аллилдигликолькарбонат).

Исследование по оценке концентрации радона с использованием ТТЯТД состоит из нескольких основных этапов:

Подготовка детекторов. Для эффективности исследования детекторы необходимо предварительно откалибровать. Для этого их помещают в радоновую камеру или так называемую «радоновую атмосферу» с известной активностью. Таким образом, можно определить коэффициент перехода от количества треков к объемной активности.

Экспозиция детекторов в объекте исследования. При измерении объемной активности радона в жилых помещениях [4] детекторы устанавливаются в комнатах основного времяпровождения жителей, на расстоянии не менее 1 метра от потенциальных источников радона, таких как стены, пол, потолок, водопровод, газовая плита и т.д. Время экспозиции варьируется в среднем от 30 дней до 6 месяцев, в зависимости от предполагаемой объемной активности радона. Исследование строительных материалов, различных пород на содержание радона проводится «методом банки» («Can technique») [11] и требует предварительной подготовки образцов (очистка, измельчение, сушка, просеивание через сито, тщательное взвешивание). Далее они запечатываются на пластиковые цилиндрические контейнеры, на нижний центр перевернутой пластиковой крышки которого устанавливаются детекторы [5].

Типы ТТЯТД и их применение [5, 6]

<i>Твердотельные ядерно-трековые детекторы</i>	
<i>Органические детекторы (полимеры)</i>	<i>Неорганические детекторы (кристаллы и стекла)</i>
содержат в своем составе водород, а их молекулы связаны ковалентными связями	не содержат в своем составе водорода, а их молекулы связаны ионными связями
нитрат целлюлозы (CN-85, LR-115), аллилдигликолькарбонат (CR-39), бисфенолполикарбонат (Lexan, Makrofol), полиэтилентерефталат (Cronar, Melinex), полиметилметакрилат (Plexiglas, Lucite, Perspex), триацетат целлюлозы (Cellit, Triafol-T, Kodacel) и т.д	ортопироксен, циркон, апатит, сфен, оливин, кварц, мусковитовая слюда, полевой шпат, <i>флогопитовая слюда</i> ; детекторы стекла: фосфатные, стекловидные, натриевые, кремниевые, боратные и др.
Применение	
Медицинская физика (измерение нейтронов в медицинском линейном ускорителе); Радоновая дозиметрия (в домах, на рабочих местах, на шахтах и т.д.); Нейтронная дозиметрия (вокруг ядерных или ускорительных установок); Дозиметрия тяжелых ионов (космические полеты, сверхзвуковые воздушные путешествия, дозиметрия персонала штатных членов экипажа высотных самолетов и др.) и др.	Планетарные науки: – исследования лунных образцов, – метеоритных образцов на определение возраста, – охлаждение ранней солнечной системы, – определение предатмосферных размеров метеоритов, – измерения космических лучей (идентификация частиц); Геология; Разведка нефти и др.

Химическая обработка (травление) детекторов. Для каждого типа ТТЯТД есть свои параметры травления. Выбор раствора для травления, температура и время травления являются критическими параметрами, которые очень важны в процессе травления. Условия травления в некоторых исследованиях концентрации радона приведены в таблице 2.

Подсчет треков проводится с помощью оптического микроскопа. Так же на сегодняшний день возможности применения трехмерной визуализации и анализа изображений позволяют определить характеристики трека. Этот метод может обеспечить быстрый и подробный трехмерный анализ твердотельных ядерных детекторов.

Расчет объемной активности радона в воздухе помещения проводится по следующей формуле [7]:

$$A = \frac{\bar{N} - N_0}{\varepsilon_0 T_{\text{Э}}}$$

где A – объемная активность радона, Бк·м⁻³;

N – плотность треков на детекторе, трек·см⁻²;

$T_{\text{Э}}$ – длительность экспозиции, сут.;

N_0 – уровень собственного фона трекового детектора, трек·см⁻²;

ε_0 – чувствительность детектора, трек·см⁻²·Бк⁻¹·м³·сут.⁻¹.

Таблица 2

Условия химического травления детекторов в исследованиях концентрации радона

Работа	Детектор	Раствор травления	Температура, °C	Время травления, мин
Radon in workplaces: first results of an extensive survey and comparison with radon in homes. S. Bucci, G. Pratesi, M. Letizia Viti, M. Pantani, F. Bochicchio, G. Venoso [8]	CR-39	6,25 M NaOH	90	60
A study of radon emitted from building materials using solid state nuclear track detectors. Rafat M. Amin [7]	CR-39	6M KOH	70	360
Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation rate in various samples of Egyptian building materials. M.Y. Shoeib, K.M. Thabayneh [6]	LR-115 type II (Kodak, France)	2,5 M NaOH	60	90
A study of the natural radioactivity and radon exhalation rate in some cements used in India and its radiological significance. Nisha Sharma, Jaspal Singh, S. Chinna Esakki, R.M. Tripathi [8]	LR-115 type II (Kodak, France)	2,5 M NaOH	60	120
Hesham A. Yousef, Gehad M. Saleh, A.H. El-Farrash, A. Hamza. Radon exhalation rate for phosphate rocks samples using alpha track detectors. Journal of Radiation Research and Applied Sciences 9 (2016) 41-46 [8]	CR-39	6,25 M NaOH	70±1	420
	LR-115	2,5 M NaOH	60±1	60

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Samet, J.M. Radiation and cancer risk: a continuing challenge for epidemiologists. Environ. Health. -2011. - Vol. 10., № 1. P.541–549.
2. Nikezic D., "Formation and growth of tracks in nuclear track materials". -2004
3. Fleischer R.L., Price P.B. and Walker R.M. Nuclear Tracks in Solid (Berkley: Univ of California press). - 1975.
4. Durrani S. A. and Bull R.K. "Solid State Nuclear Track Detection Principles, Methods and Application". - 1980. - Vol. 3.
5. Abdulhakeem Jebur, Layth & Kadhim, Nada. Studying Different Etching Methods for Several Types of Solid State Nuclear Track Detectors. - 2016.
6. Jonathan Monson. Solid State Nuclear Track Detectors (SSNTD). Experimental Methods in High Energy Physics. - 2013.
7. Valmari T., Arvela H., Reisbacka H. Radon in Finnish apartment buildings. Radiation Protection Dosimetry. 2012. Vol. 152, No. 1–3. -P. 146–149.
8. Bucci S., Pratesi G., Letizia Viti M., Pantani M., Bochicchio F., Venoso G. Radon in workplaces: first results of an extensive survey and comparison with radon in homes. Radiation Protection Dosimetry. 2011. Vol. 145, No. 2–3. -P. 202–205.

9. Чунихин Л.А., Чеховский А.Л., Дроздов Д.Н. Карта радоновой опасности территории Республики Беларусь // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 43–46.
DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-43-46.