

Таким образом, проведенные исследования показали, что по спектрометрии мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов на технологическом потоке сложного состава без отбора пробы можно определять содержание элементов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гума, В.И., Демидов, А.М., Иванов, В.А., Миллер, В.В. Нейтронно-радиационный анализ. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 64 с.
2. Paul R.L., Lindstrom R.M. Prompt gamma-ray activation analysis: Fundamentals and applications // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. АКАДЕΜΙΑΙ ΚΙΑΔΟ, – 2000. – V.243, No 1. – P. 181-189.
3. Seppo Ustalo, Tuula Lukander. On-line neutron capture gamma analysis with a Ge(Li) detector. // Nucl. Instrum. and Methods.- ELSEVIER Science Publishing Company, Inc., 1981.– V. 188, No 2.– P. 439-443.
4. Курбанов Б.И., Кист А.А., Курбанова Н.Б. Исследование возможности нейтронно-радиационной методики определения содержания азота в зерне и зерновых продуктах. // Узбекский физический журнал. - Ташкент, «Фан», 2017. – т.19, № 5. – С. 51-55.
5. Патент РУз № IDR-04491 от 2001г. «Устройство для определения элементного состава вещества», авторы Арипов Г.А., Курбанов Б.И.

### ИСКУССТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К СЕМИПАЛАТИНСКОМУ ИСПЫТАТЕЛЬНОМУ ПОЛИГОНУ

### ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN SOIL-PLANT COVER OF FOREST ECOSYSTEMS IN THE TERRITORIES ADJACENT TO SEMIPALATINSK TEST SITE

**Н. В. Ларионова, А. В. Паницкий, А. Е. Кундузбаева,  
А. М. Кабдыракова, Ю. С. Шевченко, А. Р. Иванова, А. О. Айдарханов  
N. Larionova, A. Panitskiy, A. Kunduzbaeva,  
A. Kabdyrakova, Yu. Shevchenko, A. Ivanova, A. Aidarkhanov**

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,  
г. Курчатов, Республика Казахстан  
Larionova @nnc.kz

Branch 'Institute of Radiation Safety and Ecology' NNC RK, Kurchatov, Republic of Kazakhstan

В статье приведены значения удельной активности искусственных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  в почвах в сосновом бору на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону (далее—СИП). Рассмотрен характер распределения данных радионуклидов по почвенному профилю. Установлено, что максимальное содержание  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  находится в верхнем 5-сантиметровом слое, содержание  $^{90}\text{Sr}$  распределяется равномерно до глубины 20 см. Концентрация радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в древесных и травянистых растениях ниже предела обнаружения используемой аппаратуры. Количественные значения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  зарегистрированы только в коре. В коре также установлены максимальные значения для  $^{239+240}\text{Pu}$ . Концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в травянистых растениях (*Carex pilosa*) значительно выше, чем в древесных растениях (*Pinus silvestris*).

The paper provides specific activity values for  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  artificial radionuclides in soil of the pine forest at the territory, adjacent to Semipalatinsk Test Site. Pattern of these radionuclides distribution along the soil profile was considered. The maximum concentration of  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239+240}\text{Pu}$  was registered in the top 5-cm thick layer, and  $^{90}\text{Sr}$  is uniformly distributed up to the depth of 20 cm. It is revealed that activity concentration for  $^{241}\text{Am}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in woody and herbaceous plants is below detection limits of the instrumentation used. Quantitative values of  $^{137}\text{Cs}$  activity concentration are registered only in bark. The bark also shows maximum values for  $^{239+240}\text{Pu}$ .  $^{90}\text{Sr}$  concentration in herbaceous plants (*Carex pilosa*) is significantly higher than in that in woody plants (*Pinus silvestris*).

**Ключевые слова:** Семипалатинский испытательный полигон (СИП), радионуклиды,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ , почвы, растения.

**Keywords:** Semipalatinsk Test Site (STS), radionuclides,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ , soils, plants.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-360-363>

В настоящее время в мировой практике накоплено достаточно большое количество информации по вопросу миграции техногенных радионуклидов в лесных экосистемах. Исследования подобной направленности в зонах загрязнения в результате Кыштымской и Чернобыльской радиационных аварий проводили Алексахин Р.М., Куликов Н.В., Молчанова И.В. [1, 2]. Многочисленные работы по изучению миграции радионуклидов в лесных биоценозах выполнены Тихомировым Ф.А. [3]. Развитию теоретических и экспериментальных основ биогеохимии техногенных радионуклидов в лесных ландшафтах в 30-километровой зоне отселения Чернобыльской АЭС (Украина) и наиболее загрязненных регионах Российской Федерации (Брянская, Калужская, Тульская обл.) посвящены многолетние исследования Щеглова А.И. [4]. Многочисленные работы по радиоэкологии леса Беларуси, пострадавшего также в результате аварии на Чернобыльской АЭС, представлены Переволоцким А.Н. [5].

Новым витком в исследованиях лесных экосистем стала авария на АЭС Фукусима-Дай-ичи (FDNPP) в марте 2011 года, которая привела к радиоактивному загрязнению больших площадей, 70 % из которых составили леса. Начиная с момента произошедшего аварийного инцидента на АЭС и до настоящего времени в Японии ведутся масштабные комплексные работы по исследованию радиационной обстановки загрязненных территорий лесных экосистем, путем определения содержания радионуклидов в отдельных компонентах и выявления особенностей миграции радионуклидов по ним [6, 7, 8, 9].

Испытания, проводимые на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП), обусловили загрязнение не только территории полигона, но и за его пределами. Так, после первого наземного ядерного испытания осуществленного 29 августа 1949 года при неблагоприятных условиях, сильный ветер стал причиной быстрого перемещения радиоактивного облака в восточном направлении. Данное обстоятельство привело к образованию следа радиоактивных выпадений. Одной из территорий подвергшихся радиоактивным осадкам является ленточный сосновый бор Прииртышья, полоса произрастания которого расположена в северо-восточном направлении от СИП (рис.).

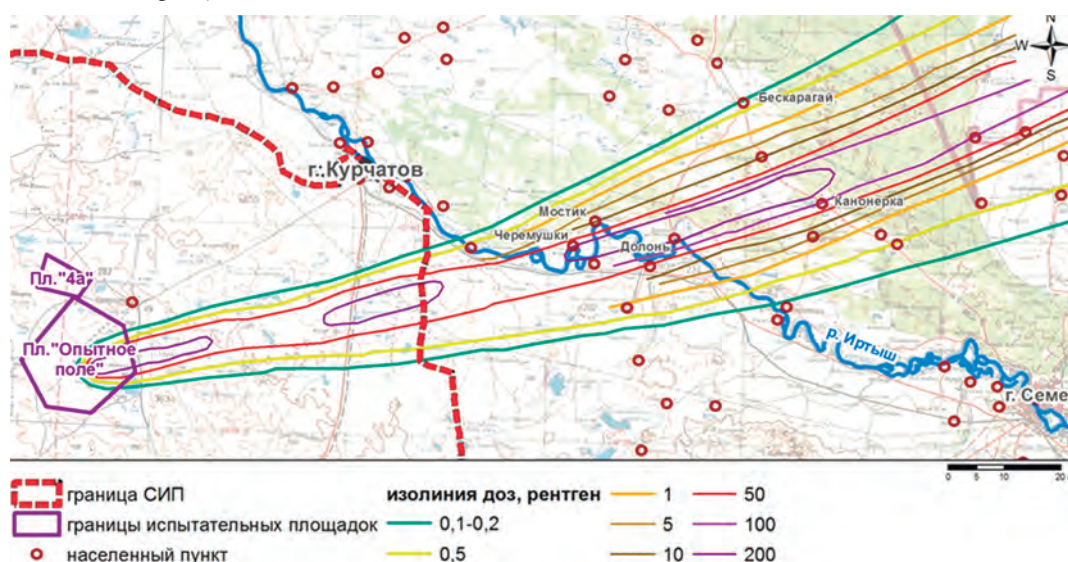


Рисунок – исследуемая территория

Общая площадь ленточного бора составляет 870,5 тыс. га. Лесобразующая порода – сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*). Ленточный бор является реликтовым и имеет большое экологическое и социально-экономическое значение, что в том числе обусловлено расположением на его территории населенных пунктов (с. Мостик, с. Долонь, с. Канонерка, с. Черемушки).

Параметры перераспределения радионуклидов по отдельным компонентам лесных экосистем на данной территории могут быть применены для прогнозирования радиоэкологической ситуации. Также полученные данные могут стать входными параметрами моделей, используемых для описания поведения радиоактивных веществ и оценки риска загрязнения компонентов лесных экосистем в отдаленный период после радиоактивного загрязнения. Определенный интерес представляет наличие на исследуемой территории радионуклидов трансуранового ряда ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ), так как основные имеющиеся в мире данные получены в основном для радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

Целью данного исследования было определить уровни и характер загрязнения искусственными радионуклидами ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ) почв и растений лесной экосистемы на территории, прилегающей к СИП.

Полевые работы включали: выбор исследовательских площадок, измерение радиационных параметров (плотности потока  $\beta$ -частиц и мощности эквивалентной дозы (МЭД)). Для заложения площадок выбирались участки в границах прохождения следа от испытания 1949 года с предположительно повышенным содержанием радионуклидов в компонентах природной среды. Изучение содержания и распределения радионуклидов по почвенному профилю проводилось посредством заложения почвенных разрезов (всего 6) с поинтервальным отбором проб почвы по 5 см до глубины 25 см. Для оценки накопления искусственных радионуклидов в растениях было

выбрано 20 участков, расположенных на предполагаемых сенокосах и пастбищах, а также в зоне лесного массива исследуемой территории. В каждой точке с площади ~ 2 кв. м произведен отбор проб травянистой растительности, представленных смешанными образцами степного разнотравья. Сопряженно с растениями отобраны пробы почвы методом «конверта» (2×1 м) на глубину 5 см. Дополнительно в 6-ти точках сопряженно с пробами почвы произведен отбор доминантных видов – осоки (*Carex pilosa*), а также сосны (*Pinus silvestris*) возрастом 50-60 лет и 15-20 лет, с разделением на отдельные органы (шишки, ветви, хвоя, кора).

Пробы почвы высушивали до воздушно-сухого состояния в сушильных шкафах при температуре 50-60°C. После удаления крупных камней и включений (растительного остатка) высушенные пробы взвешивали на технических весах. Далее весь объем пробы тщательно перемешивали, постепенно растирая в фарфоровой ступке с помощью пестика и просеивания через сито диаметром отверстий 1 мм. Полноту просеивания проверяли встряхиванием каждого сита над листом бумаги.

Работы с пробами растительности проводились путем предварительного промывания образца и ополаскивания дистиллированной водой. Далее пробы просушивались в сушильном шкафу при температуре от 80-100°C, подвергались грубому измельчению с помощью секатора. Более тонкое измельчение проводилось с помощью лабораторной мельницы. Далее производили термическое концентрирование (обугливание, озоление) проб. Сухой остаток обугливали в муфельной печи или путем прокалывания на электроплитах, не допуская воспламенения образца, до получения остатка черного цвета. Далее пробы охлаждали, растирали и переносили в тигли для последующего озоления. Первоначальную температуру повышали до 200°C в течении 50-60 минут, после чего устанавливали предельную температуру в муфельной печи: температура озоления для дальнейшего определения  $^{137}\text{Cs}$  составляла 400°C,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  – до 550°C. После озоления тигли с пробами охлаждались в эксикаторе. Готовую золу просеивали через сито для удаления не зольного остатка. Просеянную золу взвешивали и высчитывали коэффициент озоления.

Определение удельной активности радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  проводилось на гамма-спектрометре Canberra GX-2020,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  – радиохимическим выделением с последующим измерением на бета-спектрометре TRI-CARB 2900 TR и альфа-спектрометре Canberra, мод. 7401, соответственно. Удельная активность радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в растениях определялась в обугленных, предварительно измельченных образцах,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  – в золе, с последующим перерасчетом на сухое вещество. Для количественной оценки поступления радионуклидов из почвы в растения использовался коэффициент накопления (далее – Кн) – отношение содержания радионуклида в единице массы растений и почвы соответственно.

По результатам лабораторных анализов установлено, что наиболее высокие значения удельной активности в почвах на исследуемой территории характерны для трансурановых радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  (до 64 Бк/кг) и  $^{239+240}\text{Pu}$  (до 75 Бк/кг). Удельная активность радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в большинстве случаев находится ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения, максимальное значение зафиксировано на площадке 6 (75 Бк/кг). Удельная активность радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  почти во всех отобранных пробах установлена количественно, однако максимальные значения не превышают 8,3 Бк/кг.

В среднем, доля радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в слое почвы 0-5 см от его общей удельной активности в вертикальном профиле почвы составляет 81,3%, 50,2% и 60,7 % соответственно. До глубины 10 см отмечается уже 98,9 % удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ , 69,3% и 75,2 % удельной активности  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  соответственно. Доля радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  в слое 0-5 см составляет 25,9 %, в последующих слоях – до 20 см распределение радионуклида практически равномерное. До глубины 10 см отмечается лишь 42,5% от общей удельной активности в исследованном вертикальном профиле почв. Высокая подвижность  $^{90}\text{Sr}$  в данном случае может быть обусловлена тем, что он обладает повышенными миграционными свойствами в почве из-за хорошей растворимости.

Содержание радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в смешанных пробах растений, отобранных на сенокосах, пастбищах и отдельных участках леса, оказалось ниже предела обнаружения используемой аппаратуры,  $^{90}\text{Sr}$  варьирует от 0,2 до 41±6 Бк/кг,  $^{239+240}\text{Pu}$  – от <0,1 до 2,3±0,3 Бк/кг. Значения удельной активности  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в почвах, отобранных сопряженно с растениями, изменяются от <1 до 5,1±1,1 Бк/кг и от 5,4±1,1 до 120±20 Бк/кг соответственно. Удельная активность радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  в почвах составляет от 1,7±0,5 до 30±4 Бк/кг,  $^{239+240}\text{Pu}$  – характеризуется большим разбросом значений (от <1 до 270±20 Бк/кг). Кн радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  – от 0,1 до 1,8, значения Кн  $^{239+240}\text{Pu}$  не превышают 0,04.

Данные содержания искусственных радионуклидов в осоке (*Carex pilosa*) и сосне (*Pinus silvestris*) показали, что значения удельной активности  $^{241}\text{Am}$  во всех исследуемых компонентах находятся ниже пределов обнаружения используемой аппаратуры. Количественные значения  $^{137}\text{Cs}$  установлены лишь в коре сосны (*Pinus silvestris*) (от 0,8±0,1 до 1,8±0,1 Бк/кг), в остальных случаях также находятся ниже пределов обнаружения. Максимальные значения радионуклида  $^{239+240}\text{Pu}$  также зафиксированы в коре (от 0,012±0,05 до 1,5±0,1 Бк/кг). Наиболее интересная картина распределения отмечается для  $^{90}\text{Sr}$ . Содержание данного радионуклида в осоке (*Carex pilosa*) значительно выше, чем в сосне (*Pinus silvestris*), в том числе в ее отдельных исследуемых органах. Для количественной оценки накопления радионуклидов в осоке (*Carex pilosa*) рассчитаны Кн  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ . Для радионуклида  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  Кн получить не удалось из-за отсутствия количественных данных. Значения Кн  $^{90}\text{Sr}$  оказались достаточно высокими – от 1,7 до 1,8, Кн  $^{239+240}\text{Pu}$  составили от 0,0006 до 0,0085.

В результате исследований, проведенных в сосновом бору на территории, прилегающей к СИП, повышенные концентрации установлены для всех рассмотренных искусственных радионуклидов ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ). Наиболее высокие значения удельной активности установлены для трансурановых радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  (до 64 Бк/кг)



и  $^{239+240}\text{Pu}$  (до 75 Бк/кг). Максимальное содержание  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  находится в верхнем 5-сантиметровом слое, содержание  $^{90}\text{Sr}$  распределяется равномерно до глубины 20 см. В целом исследуемые искусственные радионуклиды по степени их подвижности в вертикальном профиле почв представляют собой ряд:  $^{90}\text{Sr} > ^{239+240}\text{Pu} > ^{241}\text{Am} > ^{137}\text{Cs}$ .

Содержание радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в растительности, отобранной на предполагаемых сенокосах и пастбищах, а также лесных массивах исследуемой территории, находится ниже предельно-допустимых уровней радиоактивного загрязнения кормовых растений (111 Бк/кг и 74 Бк/кг соответственно), установленных Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан (1994). Концентрация  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в растениях не нормируется, однако, исходя из степени общей радиотоксичности каждого, можно предположить, что допустимый уровень по ним будет ориентировочно на порядок меньше, чем по  $^{90}\text{Sr}$  ( $\approx 10$  Бк/кг), что значительно выше установленных величин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексахин, Р. М., Нарышкин, М. А.* Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1977. – 144 с.
2. *Куликов, Н. В., Молчанова, И. В., Каравалева, Е. Н.* Радиоэкология почвенно-растительного покрова. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – 172 с.
3. *Тихомиров, Ф. А.* Распределение и миграция радионуклидов в лесах ВУРС при радиоактивных выпадениях // Экологические последствия аварии на Южном Урале. М.: Наука, 1993. – С. 21-39.
4. *Shcheglov, A. I., Tsvetnova, O. B., Klyashtorin, A. L.* Biogeochemical migration of technogenic radionuclides in forest ecosystems. – Nauka, Moscow, 2001. – 235 p.
5. *Переволоцкий, А. Н.* Радиационно-экологическая обстановка в лесных биогеоценозах: динамика, факторы, прогноз (на примере региона аварии Чернобыльской АЭС): Обнинск, 2013. – 30 с.
6. *Toshihiro Yoshihara, et al.* Changes in radiocesium contamination from Fukushima in foliar parts of 10 common tree species in Japan between 2011 and 2013 / Toshihiro Yoshihara, Hideyuki Matsumura, Masaharu Tsuzaki, Takashi Wakamatsu, Takuya Kobayashi, Shin-nosuke Hashida, Toru Nagaoka, Fumiyuki Goto // Journal of Environmental Radioactivity. – 2014. – Vol. 138. – P. 220–226.
7. *Izuki Endo, et al.* Estimation of radioactive 137-cesium transportation by litterfall, stemflow and throughfall in the forests of Fukushima / Izuki Endo, Nobuhito Ohte, Kohei Iseda, Keitaro Tanoi, Natsuko I. Kobayashi, Masashi Murakami, Naoko Tokuchi, Mizue Ohashi // Journal of Environmental Radioactivity. – 2015. – Vol. 149. – P. 176–185.
8. *Yao Huang, et al.* Radiocesium immobilization to leaf litter by fungi during first-year decomposition in a deciduous forest in Fukushima / Yao Huang, Nobuhiro Kaneko, Taizo Nakamori, Toshiko Miura, Yoichiro Tanaka, Masanori Nonaka, Chisato Takenaka // Journal of Environmental Radioactivity. – 2016. – Vol. 152. – P. 28–34.
9. *Vasyl Yoschenko, et al.* Radiocesium distribution and fluxes in the typical Cryptomeria japonica forest at the late stage after the accident at Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant / Vasyl Yoschenko, Tsugiko Takase, Alexei Konoplev, Kenji Nanba, Yuichi Onda, Sergiy Kivva, Mark Zheleznyak, Natsumi Sato, Koji Keitoku // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – Vol. 166. – P. 45–56.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЁМНОЙ АКТИВНОСТИ ИЗОТОПОВ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАНА DETERMINATION OF VOLUME ACTIVITY OF THE RADON ISOTOP IN THE AIR OF LIVING PREMISES OF THE SOUTH REGIONS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

**С. В. Муминов<sup>1</sup>, С. М. Бахронов<sup>1</sup>, М. М. Махмудова<sup>1</sup>, У. М. Мирсаидов<sup>2</sup>  
S. Muminov<sup>1</sup>, S. Bahronov<sup>1</sup>, M. M. Makhmudova<sup>1</sup>, U. M. Mirsaidov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Таджикский государственный медицинский университет имени Абу Али ибн Сина,  
г. Душанбе, Республика Таджикистан

<sup>2</sup>Агентство по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан,  
г. Душанбе, Республика Таджикистан  
ulmas2005@mail.ru

<sup>1</sup>Nuclear and Radiation Safety Agency of Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan,  
Dushanbe, Republic of Tajikistan

<sup>2</sup>Avicenna Tajik State Medical University, Dushanbe, Republic of Tajikistan

Представлены результаты измерения объёмной активности (далее – ОА) радона – 222 в жилых помещениях, детских садах и средней школах южных регионов Республики Таджикистана. Изучены ОА радона – 222 на первом и втором этажах исследуемые местности. При исследованиях в жилых помещениях южной регионов республики использовались пассивно – интегральный метод измерения с помощью твердотельных детекторов альфа – частиц. В результате исследования установлено что, на южной регионов страны эквивалентная равновесная активность (далее – ЭРОА) радона в воздухе не превышает установленный норматив 200 Бк/м<sup>3</sup>.