

structure of fuel particles is close to the structure of the irradiated nuclear fuel of the 4-th power unit, but with fractionating of volatile products [5].

Table 1

Samples	Depth, (cm)	$^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ , (1E-09)	$^{236}\text{U}$ , at/g
Belarus, Malinovka, soil profile, ~255km from Chernobyl	0-5	70,8±3,5	1,62×10 <sup>7</sup>
	5-10	164,1±7,2	3,45×10 <sup>7</sup>
	10-15	74,5±7,1	
	15-20	78,4±6,4	
	20-30	62,6±11,7	
	30-40	61,9±6,9	
Natural uranium ores		0,012-0,56 [1]	
Russia, soil, ~165 from Chernobyl			1,2×10 <sup>10</sup> [4]
Belarus, Kulazhin, 18 km from Chernobyl	0-10		from 1,9×10 <sup>7</sup> to 2,6×10 <sup>10</sup> [1]
Belarus, Masany, 12 km from Chernobyl	0-10		from 1,0×10 <sup>11</sup> to 5×10 <sup>13</sup> [1]

Our results (Malinovka experimental site) have been converted to  $^{236}\text{U}$  concentrations, taking into account the concentration of  $^{238}\text{U}$  measured by alpha-spectrometry (1,14 Bq/kg for the 0-5 cm layer and 1,04 for the 5-10 cm layer). Our results for  $^{236}\text{U}$  shown in table 1 correspond to a concentration of fuel particles for the 0-5 cm layer of  $5,53\times 10^7$  particles per square meter and for the 5-10 cm layer of  $11,76\times 10^7$  particles per square meter.

By considering the  $^{237}\text{Np}/^{236}\text{U}$  isotope ratio in the fuel particles and the  $^{236}\text{U}$  concentration (see table 1), it is possible to estimate a total amount of  $^{237}\text{Np}$  atoms per gram of soil.  $^{237}\text{Np}$  concentration in soil for the 0-5 cm and 5-10 cm layers is expected to be  $0,76\times 10^6$  at/g and  $1,62\times 10^7$  at/g respectively. Thus,  $^{237}\text{Np}$  concentration in far-field areas of contamination is commensurate with  $^{236}\text{U}$ . Note that mobility of neptunium is 100 times higher than mobility of plutonium. This makes neptunium as dangerous as plutonium and americium. The problems previously posed by determination of  $^{237}\text{Np}$  by mass-spectrometry may be overcome by using accelerator mass spectrometry. Currently there is no published data on the  $^{237}\text{Np}$  content in the environmental media of Belarus.

Thus, use of the  $^{236}\text{U}$  isotope as an indicator of irradiated fuel allows us to identify unambiguously the irradiated uranium in the regions of Belarus that are remote from the Chernobyl reactor. AMS seems to be the most suitable technique for uranium isotopic measurements in the far-field areas of contamination.

## REFERENCES

1. Mironov, V. P., Matusевич, J. L., Kudrjashov, V. P., Boulyga, S. F., Becker, J. S. Determination of irradiation reactor uranium in soil samples in Belarus using  $^{236}\text{U}$  as irradiated uranium tracer // J. Environ. Monit., 2002, 4. – P. 997–1002.
2. Boulyga, S. F., Matusевич, J. L., Mironov, V. P., Kudrjashov, V., Halicz, P. L., Segal, I., McLean, J. A., Montaser, A., Becker, J. S. Determination of  $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$  isotope ratio in contaminated environmental samples using different ICP-MS instruments // J. Anal. At. Spectrometry, 2002, 17. – P. 958–964.
3. Shagalova, E. K.  $^{238}\text{U}$  content in soils of Belarus // Soil Science, 1986, 2. – P. 140–145.
4. Hotchkis, M., Child, D., Fink, D., Jacobsen, G. E., Lee, P.J., Mino, N., Smith, A. M., Tuniz, C. Measurement of  $^{236}\text{U}$  in environmental media // Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. B 172 (2000). – P. 659.
5. Pribylev, S. V., Novitskaya, O. N., Mironov, V. P. «Chernobyl» uranium contamination of Belarus territory // PGU Bulletin. B series, 3, 2005. – P. 67–71.

## АДСОРБЦИЯ РАДОНА НА УГЛЕРОДНО-ВОЛОКНИСТЫХ СОРБЕНТАХ

**Аншаков О. М., Киш А. О.<sup>1</sup>, Матвейчук С. В.<sup>2</sup>,  
Соколовский А. С.<sup>2</sup>, Уголев И. И., Чудаков В. А.<sup>1</sup>**

*Белорусский государственный университет,  
<sup>1</sup>Международный государственный экологический  
университет имени А. Д. Сахарова,*

*<sup>2</sup>Институт физико-органической химии НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Изучена адсорбция радона на нетканом углеродном волокне и тканом типов АУТ-МЗ, Бусофит в диапазоне температур 0–50 °С. Определена теплота адсорбции радона из воздуха на углеродном волокне различных типов.*

Корректная реализация методики выполнения измерений (МВИ) [1] объемной активности радона в воздухе помещений с использованием углеродно-волокнистых сорбентов предполагает прежде всего наличие достоверной ин-

формации о коэффициентах сорбции радона и их температурной зависимости. Цель настоящей работы – изучение адсорбции радона на углеродных волокнистых материалах типов АУТ-М3 и Бусофит.

Эксперимент проводился на циркуляционной лабораторной установке, собранной по следующей схеме:

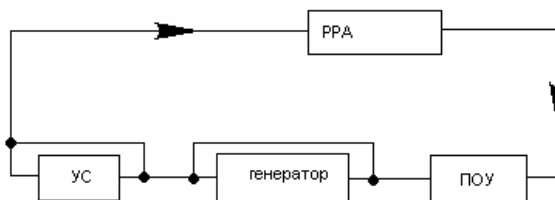


Схема экспериментальной установки РРА – альфа-радиометр радона РРА-01М-03; ПОУ – пробоотборное устройство ПОУ-04; генератор радона; УС – устройство сорбции

Объем газовой системы составил 1,9 дм<sup>3</sup>. В качестве генераторов радона использовались как твердотельные генераторы с раствором радия-226, так и генераторы на основе волокна типа ФИБАН. Циркуляционная прокачка воздуха через систему осуществлялась при помощи пробоотборного устройства ПОУ-04 со скоростью 1 дм<sup>3</sup>/мин. Предварительно генератор прокачивался в течение 3-5 мин при выключенном из цепи устройстве сорбции (для чего в системе выполнен его пассивный обход), затем генератор также исключался из цепи и система непрерывно прокачивалась до установления в ней равновесной концентрации газа. Далее смесь газов (воздух + радон) направлялась в устройство сорбции с помещенной в него навеской исследуемого углеродного волокна. Активность циркулирующего в системе радона контролировалась при помощи альфа-радиометра РРА-01М-03.

Адсорбция радона-222 углеродными волокнами представляет собой частный случай распределения радиоактивных элементов между газообразной и твердой средами [2]. Поведение радона подчиняется общему закону микропримеси между двумя фазами, поэтому изучение адсорбционных свойств углеродного волокна по радону сводится к определению коэффициентов сорбции (коэффициентов Генри).

Коэффициенты сорбции вычислялись по формуле:

$$K_c = \frac{V}{m} \left( \frac{C_{исх}}{C_{равн}} - 1 \right),$$

где  $K_c$  – коэффициент сорбции, дм<sup>3</sup>/г;  $C_{исх}$  – исходная активность радона;  $C_{равн}$  – равновесная активность радона;  $V$  – объем системы, дм<sup>3</sup>;  $m$  – масса сорбента, г.

Основные результаты температурной зависимости коэффициента сорбции радона на исследованных материалах представлены в таблицах 1, 2, 3. Полученные экспериментальным путем данные по адсорбции радона удовлетворительно аппроксимируются прямыми линиями, что позволяет рассчитать величину дифференциальной теплоты адсорбции ( $\Delta E_{адс}$ ) из воздуха:

$$\Delta E = \left| -\frac{1}{KT} \cdot \ln \frac{k_c}{k_0} \right|,$$

где  $K$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура,  $k_c$  – коэффициент адсорбции,  $k_0$  – постоянный коэффициент, связанный с тепловым движением частиц поверхности.

Таблица 1

Адсорбция радона нетканым углеродным волокном

Масса образца, г	Температура, °С	$K_c$ , дм <sup>3</sup> /г	Объем системы, дм <sup>3</sup>	$\Delta E_{адс}$ , кал/моль
1,8	12	4,1	12,5	7000
1,8	16	2,7	12,5	
1,8	25	2,4	12,5	

Таблица 2

Адсорбция радона углеродным волокном типа АУТ-М3

Масса образца, г	Температура, °С	$K_c$ , дм <sup>3</sup> /г	Объем системы, дм <sup>3</sup>	$\Delta E_{адс}$ , кал/моль
1,2	16	3	1,9	8290
1,8	17	3,2	1,9	
2	17	3,8	12,5	
2	30	2,1	12,5	

Таблица 3

Адсорбция радона углеродным волокном типа Бусофит

Масса образца, г	Температура, °С	$K_c$ , дм <sup>3</sup> /г	Объем системы, дм <sup>3</sup>	$\Delta E_{адс}$ , кал/моль
1,8	14	13,1	1,9	6700
1,8	15	14,5	12,5	
1,8	16	14,3	12,5	
1,8	20	10,1	1,9	
1,8	50	4,15	12,5	

Теплота адсорбции радона из воздуха на исследованных типах углеродного волокна в пределах погрешностей измерений и расчета ( $\pm 20\%$ ; 0,95) согласуется с литературными данными [2], полученными для активированных углей типов СКТ и ПАУ.

Следует отметить, что углеродно-волоконистые материалы в проведенных исследованиях подвергались динамическому режиму сорбции, в результате чего коэффициенты сорбции для углеродного волокна типа АУТ-М и нетканого материала получены заниженными примерно вдвое по сравнению с данными, полученными в экспериментах по изучению пассивной сорбции (статический режим) [3]. При этом общий ход температурной зависимости коэффициентов сорбции совпадает с литературными данными [2, 4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аншаков, О. М., Киш, А. О., Матвейчук, С. В., Чудаков, В. А. Методика пробоотбора атмосферного воздуха для измерения объемной активности радона-222 // Актуальные проблемы дозиметрии: материалы 5-го междунар. симп. – Мн.: МГЭУ им. А. Д. Сахарова. – 2005.
2. Казанкин, Ю. Н., Трофимов, А. М., Михайлова, Л. К. Адсорбция радона на современных активированных углях // Радиохимия. – N 3. – 1978. – С.426-430.
3. Аншаков, О. М., Киш, А. О., Лукашевич, Р. В., Чудаков, В. А. Временные параметры сорбции радона-222 из атмосферного воздуха адсорберами с углеволоконистыми материалами // Сахаровские чтения 2006 года: экологические проблемы XXI века: материалы 6-й междунар. науч. конф. – Мн.: МГЭУ им. А. Д. Сахарова. – 2006.
4. Грошковский Я. Техника высокого вакуума. – М.: Мир. – 1975.

#### RADON ADSORPTION IN FIBROUS CARBON SORBENTS

*Anshakov O. M., Kish A. O., Matveichuk S. V., Ugolev I. I., Chudakov V. A.*

*Radon sorption in woven fibrous sorbents "АУТ-М" and "Busofit" and nonwoven fiber in the temperature range 0–50°C was studied. Adsorption heat of radon from the ambient air in different types of carbon fiber was determined.*

### ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОРБЦИИ РАДОНА-222 ИЗ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА АДСОРБЕРАМИ С УГЛЕВОЛОКНИСТЫМИ СОРБЕНТАМИ

*Аншаков О. М., Киш А. О.\* , Крюковская Т. В.\* ,  
Лукашевич Р. В., Чудаков В. А.\**

*Белорусский государственный университет,  
\*Международный государственный экологический университет  
имени А. Д. Сахарова, г. Минск, Республика Беларусь*

*Проведено экспериментальное исследование временных характеристик сорбции радона адсорберами с углеволоконистыми сорбентами. Определено время экспозиции адсорберов до равновесного состояния и оценена постоянная времени.*

Применение метода гамма-радиометрии позволяет значительно упростить связанный с большим объемом рутинных измерений процесс реализации радонового мониторинга в рамках радиационно-гигиенического контроля зданий и строений. Согласно разработанным методикам [1, 2], при пробоотборе используются адсорберы на основе регенерируемого углеродного волокна, обладающего, по сравнению с обычно используемым активированным углем, более высокой сорбционной емкостью и удобством в эксплуатации [2].

Для получения корректных результатов измерений необходимы сведения об оптимальном времени экспозиции адсорберов. Экспериментальное исследование временных характеристик пробоотбора было проведено на базе подвальных и цокольных помещений МГЭУ им. А. Д. Сахарова и БГУ с использованием адсорберов с различным типом углеродного волокна, сконструированных для измерения активности поглощенного радона при помощи сцинтилляционного гамма-спектрометра РКГ-АТ1320 и гамма-радиометра МКС-АТ1125.

Максимальное интегральное время экспозиции адсорберов составляло до 14 суток. Периодически адсорберы изымались для измерения активности радона-222, накопленного в пробе за время экспозиции.

Перед началом цикла измерений адсорберы были регенерированы при температуре 150° (время регенерации 2–3 ч). Фоновая скорость счета контролировалась как перед началом цикла, так и в процессе измерений с использованием фонового картриджа. Активность радона-222 и его дочерних продуктов распада в воздухе обследуемых помещений параллельно измерялась при помощи альфа-радиометров радона AlphaGuard, PAA и PPA-01M-03.