

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ $^{40}\text{K}$ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ Г. РОСТОВА-НА-ДОНУ

Стасов В. В.<sup>1</sup>, Бураева Е. А.<sup>1,2</sup>, Малышевский В. С.<sup>2</sup>, Нефедов В. С.<sup>1,2</sup>, Дергачева Е. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт физики ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет» (344090, Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 191), e-mail: buraeva\_elena@mail.ru

<sup>2</sup>Физический факультет ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет» (344090, Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 5), e-mail: vsmalyshevsky@sfnu.ru

Проведена оценка содержания и сезонного поведения естественного радионуклида земного происхождения  $^{40}\text{K}$  в приземном слое воздуха промышленного центра (на примере г. Ростова-на-Дону). Объемную активность  $^{40}\text{K}$  в атмосферных аэрозолях определяли инструментальным гамма-спектрометрическим методом радионуклидного анализа. Содержание  $^{40}\text{K}$  в атмосферных аэрозолях г. Ростова-на-Дону варьирует в пределах от 1,8 до 95,5 мкБк/м<sup>3</sup>. Поведение  $^{40}\text{K}$  (усредненное за период 2002–2011 гг.) в приземном слое воздуха региона исследования отличается максимумом в летний период (с июня по октябрь) и минимумом в зимний. Подобный сезонный ход характерен для многих радионуклидов в атмосфере различных регионов мира. Также в данной работе оценено содержание  $^{40}\text{K}$  в фракциях придорожной пыли и атмосферных аэрозолях. Содержания в аэрозольной и придорожной пыли  $^{40}\text{K}$  близки к его средним содержаниям для почв Ростовской области.

Ключевые слова:  $^{40}\text{K}$ , приземный слой воздуха, осадки, атмосферные аэрозоли, температура воздуха, ветровой подъем, атмосферное давление, относительная влажность воздуха.

## SOURCES OF $^{40}\text{K}$ IN THE SURFACE LAYER OF THE ATMOSPHERE OF ROSTOV-ON-DON

Stasov V. V.<sup>1</sup>, Buraeva E. A.<sup>1,2</sup>, Malyshevsky V. S.<sup>2</sup>, Nefedov V. S.<sup>1,2</sup>, Dergacheva E. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research institute of Physics, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia (344090, Rostov-on-Don, Stachka Av. 194), e-mail: buraeva\_elena@mail.ru

<sup>2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia (344090, Rostov-on-Don, Stachka Av. 194/2), e-mail: vsmalyshevsky@sfnu.ru

The content and the seasonal behavior of the natural radionuclide  $^{40}\text{K}$  in the lower atmosphere of the industrial center (for example, the city of Rostov-on-Don, Russia) have been made. The  $^{40}\text{K}$  activity concentration in the atmospheric aerosols was determined by the instrumental gamma spectrometry radionuclide analysis. The content of  $^{40}\text{K}$  in atmospheric aerosols of Rostov-on-Don is in the range from 1.8 to 95.5  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ . The behavior of  $^{40}\text{K}$  (average for the period 2002–2011) in the lower atmosphere of the region differs by maximum in summer (June to October) and a minimum in winter. Such seasonal variation is typical for many radionuclides in the atmosphere of different regions in the world. The content of  $^{40}\text{K}$  in fractions of a roadside dust and atmospheric aerosols has been evaluated. The contents of  $^{40}\text{K}$  in an aerosol and dust roadside is close to mean contents for soils of Rostov region.

Keywords:  $^{40}\text{K}$ , the surface layer of air, precipitation, atmospheric aerosols, air temperature, wind uplift, barometric pressure, relative humidity.

### Введение

Естественный радионуклид земного происхождения  $^{40}\text{K}$  в атмосферу урбанизированных и природных территорий может поступать с ветровым подъемом пыли с поверхности почвы и может использоваться как репер при оценке вклада ветрового подъема в суммарную радиоактивность атмосферы [4]. В целом, в почвах и грунтах содержатся значительные количества данного элемента – от 100 Бк/кг до 2000 Бк/кг [1,2,6,7]. По разным оценкам среднемировое содержание  $^{40}\text{K}$  в различных почвах составляет 300–500 Бк/кг [1,2].

В приземном слое воздуха объемная активность  $^{40}\text{K}$  варьирует в пределах  $10^{-5} - 10^{-8}$  Бк/м<sup>3</sup> [5,8]. Сезонное поведение данного радионуклида отличается как максимум в летний период и минимумом в осенне-зимний, так и относительно равномерным распределением его объемной активности в течение года [5,8].

Данная работа посвящена исследованию источников поступления и распределения  $^{40}\text{K}$  в приземном слое атмосферы г. Ростова-на-Дону и оценке его содержания, сезонного поведения и зависимости от некоторых метеопараметров (температуры, количества осадков, относительной влажности).

### **Объекты и методы их исследования**

Объектом настоящего исследования является приземный слой воздуха г. Ростова-на-Дону. Климат Ростова-на-Дону – умеренно-континентальный, с прохладной зимой и жарким летом.

Для отбора проб дисперсной фазы атмосферных аэрозолей в Лаборатории радиозкологических исследований НИИ физики Южного федерального университета в 2001 году введена в эксплуатацию фильтровентиляционная установка (ФВУ). Атмосферные аэрозоли отбирали на фильтр из ткани Петрянова ФПП-15-1.7 общей площадью 0,56 м<sup>3</sup>. Реальное (чистое) время экспозиции каждой пробы, определяемое электронным хронометром, составляет 168 часов. Расход воздуха ФВУ составляет около 510–630 м<sup>3</sup>/час. В целом, за 2002–2011 гг. было отобрано более 500 проб атмосферных аэрозолей.

Для оценки удельной активности  $^{40}\text{K}$  в атмосферных аэрозолях использовали радиометрическую низкофоновую установку на основе коаксиального полупроводникового детектора из особо чистого германия (GeHP) с эффективностью 25 % в диапазоне 13–1500 кэВ, отношением пик/комpton 51.7:1.

Активность  $^{40}\text{K}$  определяли по пику с энергией 1460,8 кэВ. По разности весов экспонированного и чистого фильтра оценивали запыленность воздуха  $P_0=P/V$  (мкг/м<sup>3</sup>). Погрешность определения объемной активности  $^{40}\text{K}$  не превышала 15 %.

### **Результаты и их обсуждение**

Объемная активность  $^{40}\text{K}$  в атмосферных аэрозолях г. Ростова-на-Дону варьирует в широких пределах, от 1,8 до 95,5 мкБк/м<sup>3</sup>. При этом среднегодовые содержания данного радионуклида (табл. 1), в целом, достаточно высоки – 30–70 мкБк/м<sup>3</sup>. Полученные данные согласуются для таковых в других регионах [5,8]. Ниже представлены пределы вариации  $^{40}\text{K}$  в приземной атмосфере г. Ростова-на-Дону за период с 2002 по 2011 г.

Таблица 1. Объемная активность (ОА)  $^{40}\text{K}$  в атмосферных аэрозолях за период 2002–2011 гг., Бк/м<sup>3</sup>

Год	Min	Max	Среднее значение
2002	3,14E-06	5,86E-05	2,54E-05
2003	1,86E-06	4,43E-04	7,70E-05
2004	7,47E-06	1,10E-04	3,57E-05
2005	8,69E-06	9,55E-05	3,97E-05
2006	1,14E-05	1,17E-04	5,62E-05
2007	3,21E-06	1,00E-04	3,86E-05
2008	2,45E-06	1,17E-04	5,27E-05
2009	5,74E-07	4,56E-04	5,48E-05
2010	1,45E-05	4,56E-04	5,32E-05
2011	1,06E-05	3,15E-04	5,09E-05

В целом (рис. 1) сезонное поведение  $^{40}\text{K}$  (усредненное за период 2002–2011 гг.) в приземном слое воздуха г. Ростова-на-Дону отличается максимумом в летний период (с июня по октябрь). Подобный сезонный ход характерен для многих радионуклидов в атмосфере различных регионов мира [5,8].

Данное поведение  $^{40}\text{K}$ , скорее всего, связано с минимальным количеством осадков и высокими температурами воздуха в летний период и в первый осенний месяц. Для г. Ростова-на-Дону и Ростовской области характерны жаркие и засушливые июль, август и сентябрь. Подобные погодные факторы в совокупности с достаточно сильным ветром создают условия для ветрового подъема пыли с подстилающей поверхности.

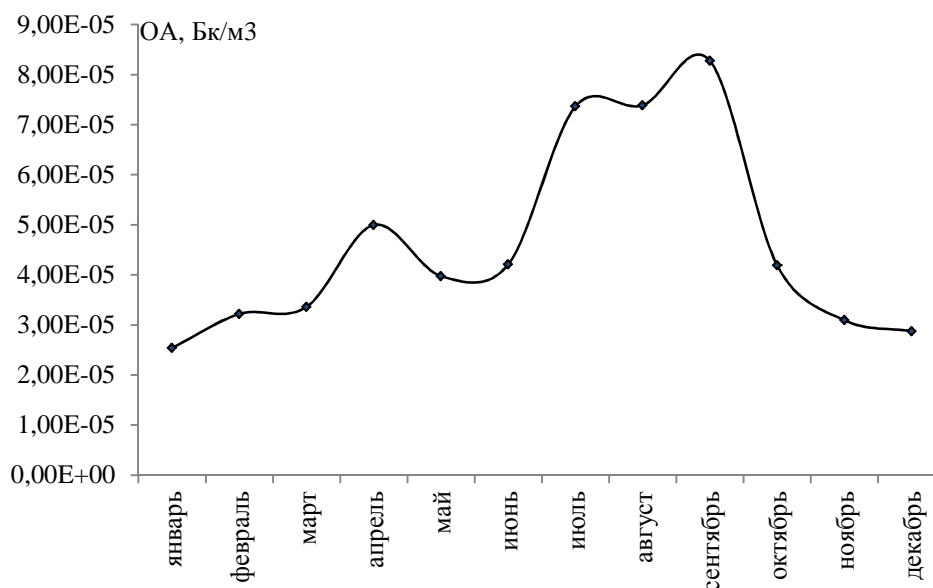


Рис.1. Сезонный ход  $^{40}\text{K}$ , усредненный за 10 лет, Бк/м<sup>3</sup>

Корреляция среднемесячных содержаний  $^{40}\text{K}$  в атмосферных аэрозолях с количеством выпавших осадков, температурой воздуха, давлением, скоростью ветра и относительной влажностью воздуха, представлена в таблице 2.

Таблица 2. Корреляция среднемесячных содержаний  $^{40}\text{K}$  в атмосферных аэрозолях с количеством осадков, температурой, давлением, скоростью ветра, относительной влажностью

Год	Коэффициент корреляции				
	Количество осадков	Температура воздуха	Давление	Скорость ветра	Относительная влажность
2002	-0,74	0,53	-0,47	0,65	-0,61
2003	-0,71	0,66	-0,59	0,61	-0,57
2004	-0,66	0,82	-0,61	0,67	-0,67
2005	-0,62	0,58	-0,47	0,71	-0,69
2006	-0,70	0,65	-0,41	0,69	-0,86
2007	-0,73	0,58	-0,43	0,54	-0,57
2008	-0,66	0,77	-0,54	0,62	-0,82
2009	-0,71	0,69	-0,41	0,69	-0,55
2010	-0,69	0,71	-0,45	0,61	-0,81
2011	-0,67	0,66	-0,53	0,72	-0,65
Среднее	-0,69	0,67	-0,49	0,65	-0,68

Обратная зависимость между объемной активностью  $^{40}\text{K}$  в аэрозолях и количеством выпавших осадков, а также с относительной влажностью воздуха обусловлена селективным вымыванием радионуклида из атмосферы. Устойчивая корреляция с температурой воздуха и скоростью ветра на протяжении десятилетнего периода объясняется, прежде всего, тем, что данные метеопараметры оказывают прямое влияние на состояние верхнего слоя почвы, а также являются составляющими механизма ветрового подъема частиц с подстилающей поверхности.

Для более ясного понимания механизмов ветрового подъема  $^{40}\text{K}$  в приземный слой атмосферы изучена связь его содержания во фракциях почвы и атмосферных аэрозолей.

В 2006–2008 гг. вдоль автодорог Ростов-Аксай-Новочеркасск был проведен пробоотбор пыли и почв. Для оценки содержания  $^{40}\text{K}$  в фракциях придорожной пыли и атмосферных аэрозолях были проанализированы более 170 проб.

Данные по содержанию  $^{40}\text{K}$  в пробах пыли и в аэрозольной пыли за летние месяцы 2006–2008 гг. приведены в табл. 3.

Таблица 3. Содержание  $^{40}\text{K}$  в пробах пыли и в аэрозольной пыли за летние месяцы 2006–2008 гг., Бк/кг

Год	Придорожная пыль		Аэрозольная пыль	
	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее
2006	8,6-490,8	289,4	158,5-530,2	281,1
2007	5,2-448,7	294,8	115,1-541,8	253,8
2008	6,6-486,1	312,7	130,8-578,6	311,3

Хорошее согласие содержания  $^{40}\text{K}$  в аэрозолях и придорожной пыли подтверждает тот факт, что содержание этого радионуклида в приземной атмосфере обуславливается ветровым подъемом преимущественно мелкодисперсных фракций почво-грунтов [4].

Более детальную информацию получили при анализе фракций придорожной пыли (рис. 2). Содержание  $^{40}\text{K}$  в аэрозолях наиболее близко к содержанию их в самой мелкодисперсной фракции пыли (<0,06), что свидетельствует о том, что ветровой подъем является основным источником поступления этого радионуклида в приземный слой атмосферы города.

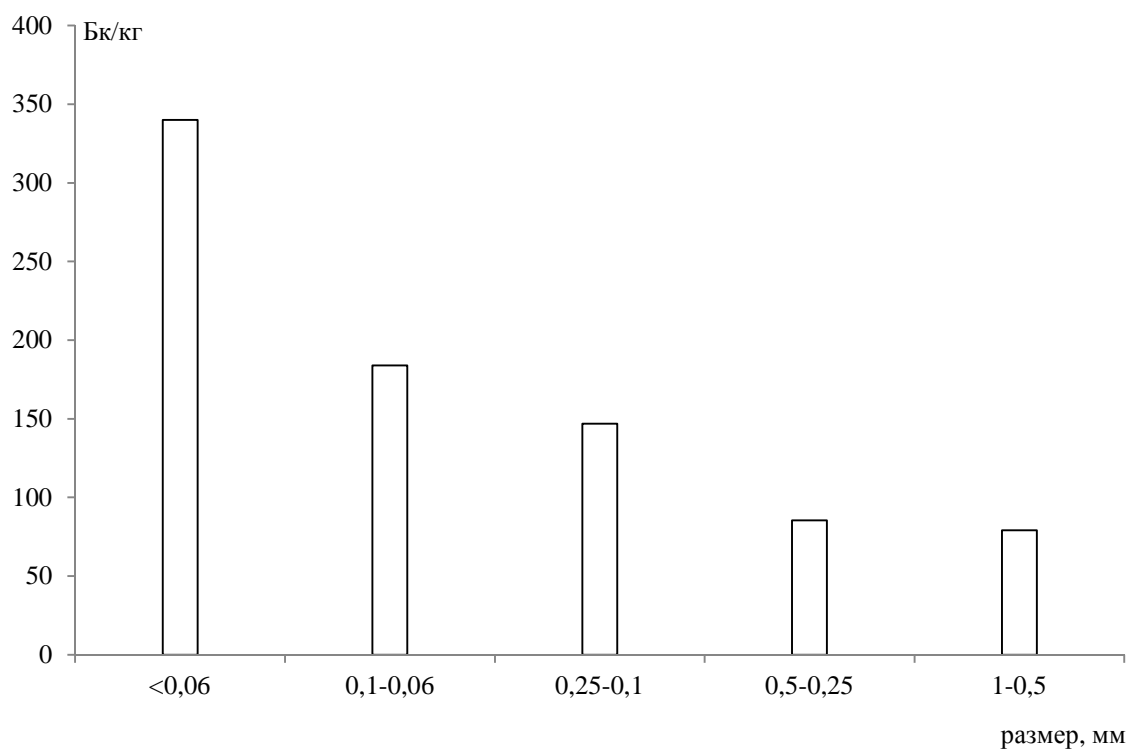


Рис. 2. Зависимость  $^{40}\text{K}$  от размера частиц

Анализ результатов определения  $^{40}\text{K}$  в различных фракциях (от 1 мм до 60 мкм) придорожной пыли показал возрастание концентраций радионуклида (в 2–4 раза) с уменьшением размера частиц (рис. 2).

В связи с заключением о содержании  $^{40}\text{K}$  в придорожной пыли был проведен сравнительный анализ с его содержанием в почве.

Таблица 4. Содержание  $^{40}\text{K}$  в пробах почвы

Р/н	Почва-кювет		Почва-целина		Пыль, обочина	
	предел	ср.	предел	ср.	предел	ср.
$^{40}\text{K}$	333,8-532,0	438,0	379,2-510,9	466,2	181,2-367,1	262,1

Содержания  $^{40}\text{K}$  близки к его средним содержаниям для почв Ростовской области [1,2], но меньше таковых для придорожной пыли из-за зависимости содержаний радионуклида от дисперсности пробы. В более мелких частицах почвы содержания  $^{40}\text{K}$  заметно меньше, чем в почве (табл. 4). Таким образом, для этого радионуклида среднее содержание в придорожной пыли меньше, чем в почвах в 1,7–1,8 раза.

Корреляция содержания  $^{40}\text{K}$  в атмосферных аэрозолях с запыленностью воздуха представлена в табл. 5 и варьирует в пределах 0,61–0,82.

Таблица 5. Корреляция  $^{40}\text{K}$  с запыленностью воздуха

2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	среднее
0,68	0,80	0,61	0,61	0,62	0,71	0,68	0,79	0,82	0,67	0,70

Наличие хорошей и устойчивой на протяжении 10 лет корреляции содержания  $^{40}\text{K}$  в атмосферных аэрозолях (табл. 5) с запыленностью приземной атмосферы подтверждает определяющую роль ветрового как основного источника поступления этого радионуклида в атмосферу.

### Выводы

За период 2002–2011 гг. получены данные еженедельного контроля содержаний радионуклида  $^{40}\text{K}$ . Данные обобщены для получения зависимостей от различных метеопараметров, а также усреднены по годам.

В сезонном ходе  $^{40}\text{K}$  имеет место подъем содержания в аэрозолях в весенний период, связанный с перестройкой атмосферы, летнее повышение и зимнее понижение. Имеется локальный максимум в апреле (весенняя перестройка атмосферы) и локальный минимум в июне (вымывание аэрозолей в период максимума количеством осадков).

Для изучения особенностей ветрового подъема  $^{40}\text{K}$  в приземный воздух изучены связи его содержания в атмосферных аэрозолях и в почвах и фракциях придорожной пыли.

Хорошее согласие содержания  $^{40}\text{K}$  в аэрозолях и придорожной пыли говорит о том, что содержание этого радионуклида в приземной атмосфере обуславливается ветровым подъемом преимущественно мелкодисперсных фракций почво-грунтов, а наличие устойчивой на

протяжении 10 лет корреляции содержания  $^{40}\text{K}$  в атмосферных аэрозолях с запыленностью приземной атмосферы подтверждает определяющую роль ветрового как основного источника поступления этого радионуклида в атмосферу.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (№ 14.А18.21.0633).*

### Список литературы

1. Бураева Е. А. Радиоэкологический мониторинг наземных экосистем района расположения Волгодонской АЭС // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. Специальный выпуск. – 2008. – С. 148-153.
2. Бураева Е. А., Малышевский В. С., Шиманская Е. И., Вардуни Т. В., Триболина А. Н., Гончаренко А. А., Гончарова Л. Ю., Тоцкая В. С., Нефедов В. С. Содержание и распределение естественных радионуклидов в различных типах почвы Ростовской области // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4; URL: [www.science-education.ru/110-9652](http://www.science-education.ru/110-9652)
3. Давыдов М. Г. Радиоэкология: учебник для вузов / М. Г. Давыдов, Е. А. Бураева, Л. В. Зорина, В. С. Малышевский, В. В. Стасов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. – 635 с.
4. Стасов В. В. Исследования источников поступления и процессов переноса радионуклидов в приземной атмосфере антропогенно-измененного ландшафта (на примере г. Ростова-на-Дону): Автореф. дисс... канд. физ.-мат. наук. – Ростов-на-Дону, 2013. – 24 с.
5. Hotzl H., Winkler R. Activity Concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^7\text{Be}$  and their temporal variations in surface air // J. Environ. Radioactivity. – 1987. – Vol. 5. – P. 445–458.
6. Malanca A., Gaidolfi L., Pessina V., Dallara G. Distribution of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , and  $^{40}\text{K}$  in soils of Rio Grande do Norte (Brazil) // J. Environ. Radioactivity. – 1996. – Vol. 30. – №. 1. – P. 55-67.
7. Navas A., Soto J., Machin J.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  activities in soil profiles of the Flysch sector (Central Spanish Pyrenees) // Applied Radiation and Isotopes. – 2002. – Vol. 57. – P. 579–589.
8. Rulík P., Mala H., Beckova V., Holgye Z., Schlesingerova E., Svetlík I., Skrkal J. Low level air radioactivity measurements in Prague, Czech Republic // Applied Radiation and Isotopes. – 2009. – Vol. 67. – P. 969–973.

### Рецензенты:

Вардуни Т. В., д.п.н., к.б.н., профессор, заведующая отделом экологических инноваций Научно-исследовательского института биологии ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону.

Симонович Е. И., д.б.н., старший научный сотрудник Научно-исследовательского института биологии ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону.