

# РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫЙ ОБЪЕКТ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

## RADIATION-DANGEROUS OBJECT AND THE ENVIRONMENT

А.С. БАРИНОВ, *к.т.н.*,  
И.П. КОРЕНКОВ, *д.б.н., к.т.н.*  
Т.Н. ЛАЩЕНОВА, *к.х.н.*  
(ГУП МосНПО «Радон»)



A.S. BARINOV,  
*Candidate of Technical Science,*  
I.P. KORENKOV,  
*Doctor of Biological Science,*  
T.N. LASHCHENOVA,  
*Candidate of Chemical Science*  
(SUE SIA Radon)

■ Один из критериев защиты человека и биосферы от воздействия вредных факторов — сохранение естественного фона радиации и экологического баланса отдельных радионуклидов и химических элементов.

Исходное содержание этих параметров классифицируется как фоновое для данной территории и регламентируется как контрольные уровни.

Природные экосистемы в районах размещения радиационно-опасных объектов, как правило, подвержены воздействию комплекса факторов: ионизирующего излучения, химического загрязнения, теплового сброса и т.д. Характер воздействия радиационных и токсичных факторов на окружающую среду не является специфическим и выражается в сходных ответных реакциях экосистем. Отсюда вытекает принцип универсальности критериев оценки и прогнозирования последствий воздействия радиационных и токсичных факторов, а также возможность суммирования эффектов.

Оценку экологической ситуации в районе размещения действующего радиационно-опасного объекта следует проводить комплексно, учитывая характеристики как радиоактивного, так и химического загрязнения в соответствии с установленными критериями защиты человека и биоты. Именно так оценивали состояние окружающей среды в пределах зоны наблюдения Научно-производственного комплекса ГУП МосНПО «Радон», эксплуатирующегося с 1961 года. В процессе работы специалисты предприятия провели комплексные исследования проб почвы, снега, воды и донных отложений поверхностных водоемов, аэрозолей приземного атмосферного воздуха, отобранные в зоне наблюдения НПК.

### ПОЧВЫ

Отбор проб почвы осуществляли по профилям, ориентированным относительно расположения НПК по сторонам света.

Среднее значение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах, отобранных на поверхности, составляет  $10 \pm 4$  Бк/кг, на глубине 0,2 м —  $4 \pm 2$  Бк/кг. Такой уровень активности обусловлен глобальными и чернобыльскими выпадениями и соответствует среднему содержанию  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Московского региона.

■ One of the criteria used to measure protection of humans and the biosphere against harmful impacts is the extent to which the natural radiation level and the balance between the individual radionuclides and chemical elements is maintained.

*The original values of these parameters are recorded as background levels, which are used as reference.*

*Natural ecosystems around radiation-dangerous objects are normally subjected to a number of impacts: ionising radiation, chemical contamination, thermal release, etc. Radiation and toxic impacts on the environment are not specific in their nature and can be traced in the response reactions of the impacted ecosystems; hence the versatility principle for evaluation criteria and consequence prediction for radiation and toxic impacts. It also means that these effects can be summed up.*

*In order to properly assess the environmental situation around an operating object that represents radiation danger, the assessment has to be comprehensive, i.e. take into account all radioactive and chemical contamination characteristics corresponding to the stipulated protection criteria for humans and the biota. This is exactly the method used to assess the environmental conditions in the monitored area around SUE SIA Radon site in Moscow, which has been in operation since 1961. During the surveys, Radon specialists analysed samples of soil, snow, water and bottom sediments from surface waterbodies, as well as aerosols from near-ground atmospheric air, all collected in the monitored area around the site.*

### SOILS

*Soil samples were taken using profiles, oriented relative to the geographic position of the site.*

*The average specific  $^{137}\text{Cs}$  activity was  $10 \pm 4$  Bq/kg in soil samples taken from the surface, and  $4 \pm 2$  Bq/kg in samples from the depth of 0.2 m. This activity level is caused by global and Chernobyl fall-out and corresponds to the average  $^{137}\text{Cs}$  content in the soils of Moscow region.*

*The average concentrations of naturally-occurring radionuclides in the soils of the monitored area were as follow:  $30 \pm 2$  Bq/kg for  $^{226}\text{Ra}$ ,  $660 \pm 20$  Bq/kg for  $^{40}\text{K}$ ,  $40 \pm 2$  Bq/kg for  $^{232}\text{Th}$ . This corresponds to regional background levels for the soil and vegetation layer. Maximum specific activity values were recorded in samples of soil with high clay content.*

Среднее содержание природных радионуклидов в почвах зоны наблюдения составило:  $^{226}\text{Ra}$  —  $30 \pm 2$  Бк/кг,  $^{40}\text{K}$  —  $660 \pm 20$  Бк/кг,  $^{232}\text{Th}$  —  $40 \pm 2$  Бк/кг. Это соответствует региональным фоновым значениям. Максимальные значения удельной активности природных радионуклидов зафиксированы в пробах почвы с высоким содержанием глинистой фракции.

Для оценки степени химического загрязнения почвы использовали следующие показатели: коэффициент техногенной концентрации химического элемента  $K_c$  (отношение реального содержания элемента в почве к фоновому для данной территории) и суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ).  $Z_c$  представляет собой сумму коэффициентов техногенной концентрации элементов и рассчитывается по формуле

$$Z_c = \sum_i \frac{C_i - C_{\text{фи}}}{C_{\text{фи}}} = \sum_i (K_{ci} - 1),$$

где  $C_i$  — содержание элемента в пробе,  $C_{\text{фи}}$  — фоновое содержание элемента,  $K_{ci}$  — коэффициент техногенной концентрации химического элемента,  $n$  — число элементов в пробе с  $K_{ci} > 2$ .

Исследования позволили выделить ряд возможных элементов — загрязнителей почвы:  $\text{Sr} > \text{Ba} > \text{Zr} > \text{Co} > \text{V} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cu}$ . Для каждого элемента рассчитали коэффициент техногенной концентрации во всех пробах, отобранных на территории, включая населенные пункты и лесничества. Статистическая обработка этого массива данных позволила определить средние значения, которые были предложены в качестве фоновых содержаний тяжелых металлов в почвах зоны наблюдения, которые, в основном, относятся к дерново-подзолисто-му типу.

The following characteristics were used to assess the chemical contamination of soil:  $K_c$ , a coefficient that describes man-caused concentration of a chemical element (ratio between the actual concentration of an element in soil and the background level for the region), and  $Z_c$ , a summary contamination index.  $Z_c$  is a sum of man-caused concentration coefficients and is calculated using the formula

$$Z_c = \sum_i \frac{C_i - C_{\text{би}}}{C_{\text{би}}} = \sum_i (K_{ci} - 1),$$

where  $C_i$  is the concentration of element in the soil,  $C_{\text{би}}$  is the background level of element concentration,  $K_{ci}$  is the coefficient of man-caused element concentration,  $n$  is the number of elements in the sample with  $K_{ci} > 2$ .

The surveys have detected a number of possible soil contaminants:  $\text{Sr} > \text{Ba} > \text{Zr} > \text{Co} > \text{V} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cu}$ . For each element, man-caused concentration coefficients were calculated for all samples taken in the concerned area, including populated locations and forestries. Through statistical processing of this data, average values were calculated, which were then proposed as background levels for heavy metals content in monitored soils, which are mainly classified as turf-podzolic.

Taking into account the toxicity of chemical elements (the state standards divide them into three categories depending on chemical hazard that they represent), the summary contamination index was calculated and evaluated using a scale developed as a result of health monitoring of people residing in areas with various soil contamination levels. The resulting value of  $Z_c$  was  $< 8$ , which means the soils in the area can be regarded as clean and they can be used without restrictions.

#### СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ И ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ И В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ ЗОНЫ НАБЛЮДЕНИЯ CONTENT OF RADIONUCLIDES IN SOILS AND BOTTOM SEDIMENTS OF SURFACE WATER-BODIES IN THE MONITORED AREA

Параметр исследования Parameter of research	Единицы измерения Measure units	Класс химической опасности Chemical hazard category	Почвы Soils					Донные отложения Bottom sediments		Критерии оценки Evaluation criteria		
			Минимальное Minimum	Максимальное Maximum	Стандартное отклонение Standard deviation	Среднее Average	$K_c$	Стандартное отклонение Standard deviation	Среднее Average	Региональное фоновое содержание в почве Regional background for soil	ПДК для почв Maximum permissible concentration for soils	Содержание в осадочных породах (кларк) Content in sediments (clark)
$^{137}\text{Cs}$ $^{40}\text{K}$ $^{232}\text{Th}$ $^{226}\text{Ra}$ $A_{\text{эфф}}$	Бк/кг Bq/kg		<2 370 20 15 80	35 950 60 45 180	7 130 7 6 25	10 660 40 30 140		2 90 7 6 20	3 460 15 15 80	9 560 40 22 90	- - - - -	- - - - -
Pb Zn		1	15 30	35 90	5 10	25 55	0,9 1,1	5 17	14 39	26 50	32 100	16 80
Cu Co Cr Ni	мг/кг mg/kg	2	5 5 30 15	40 35 70 40	10 5 10 5	20 15 45 25	0,8 1,8 1,0 1,3	3 3 8 6	13 9 32 18	27 7 46 20	40 50 50 80	57 20 100 95
V Mn Sr		3	55 230 110	125 1 690 155	15 310 10	85 850 120	1,3 1,2 4,3	16 50 10	50 470 95	64 690 28	150 1 500 -	130 690 450

**СРЕДНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ**  
 AVERAGE CONTENT OF TOXIC ELEMENTS IN SURFACE WATER-BODIES

Элемент Element	Класс химической опасности Category of chemical hazard	Удельное содержание, мг/л Specific concentration, mg/litre		ПДК, мг/л MPC, mg/litre
		Среднее Average	Стандартное отклонение Standard deviation	
Hg	1	1,5E-05	1,0E-05	5,0E-04
Be		8,0E-06	5,0E-06	2,0E-04
As		6,0E-04	4,0E-04	1,0E-02
Cd	2	1,3E-04	6,0E-05	1,0E-03
Se		1,2E-02	1,0E-03	1,0E-02
Sb		1,7E-04	5,0E-05	5,0E-03
Ni		1,2E-03	3,0E-04	2,0E-02
Ag		1,0E-05	1,0E-05	5,0E-02
Co		1,4E-04	6,0E-05	1,0E-01
Mo		1,9E-03	3,0E-04	2,5E-01
Sr		7,0E-02	5,0E-02	7,0
Zn	3	1,7E-02	7,0E-03	1,0E+00
Cu		2,0E-03	1,0E-03	1,0
Cr		5,0E-03	1,0E-03	5,0E-01
Mn		5,6E-02	3,0E-02	1,0E-01
V		8,0E-04	2,0E-04	1,0E-01
Fe		6,0E-02	2,0E-02	3,0E-01
Mg		5,0	4,0	50,0

С учетом степени токсичности химических элементов (они, по Государственному стандарту, подразделяются на три класса химической опасности) рассчитали суммарный показатель загрязнения и оценили по шкале, разработанной на основе изучения состояния здоровья населения, проживающего на территории с различным уровнем загрязнения почвы. Значение  $Z_c$  оказалось  $< 8$ , это позволяет отнести почвы зоны наблюдения к категории «чистая», их можно использовать «без ограничений».

**ВОДА И ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ**

Для контроля вертикального распределения радионуклидов и тяжелых металлов в толще донных отложений поверхностных водоемов зоны наблюдения отбирали колонки с ненарушенной структурой высотой 50 см и делили их по вертикали на интервалы по 10 см.

Радионуклидный состав донных отложений водоемов зоны наблюдения представлен природными изотопами  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , а также техногенным  $^{137}\text{Cs}$ , средняя удельная активность которого менее 4 Бк/кг.

Степень химического загрязнения донных и пойменных отложений оценивали по тем же критериям, что и почвы. Послойный химический анализ проб показал, что среднее содержание тяжелых металлов находится на уровне фонового. Значение суммарного показателя загрязнения составило  $< 8$ . По классификации качества донных отложений, они относятся к классу I — «слабо загрязненные». А при использовании понятия «стандартных» донных отложений и предложенном методе расчета критериев загрязнения (путем пересчета концентраций загрязняющих веществ в единицах таких отложений)

**WATER AND BOTTOM SEDIMENTS OF SURFACE WATER BODIES**

In order to check the vertical distribution of radionuclides and heavy metals in the depth of the bottom sediments of surface water bodies in the monitored area, 50 cm tall core samples with unbroken structure were taken and then split into 10 cm tall vertical intervals.

The radionuclide composition of bottom sediments of water bodies in the monitored area included naturally occurring isotopes  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , as well as man-made  $^{137}\text{Cs}$ , whose average specific activity measured below 4 Bq/kg.

Chemical contamination of bottom and floodplain sediments was evaluated using the same criteria as for the soils. Layer-by-layer chemical analysis of the samples showed that the average heavy metals content values are within background levels. The aggregate contamination index was  $< 8$ . According to the sediments quality classification, the monitored soils are classed as category I — “low contaminated”. Whereas using the notion of “standard” bottom sediments and the proposed method of contamination criteria calculation (by converting the concentrations of contaminants into units of such sediments), their degree of toxicity is defined as “target contamination level” and does not require any interference.

Evaluation criteria for the contamination of water in surface water bodies are contained in the current hygienic and environmental protection regulations: maximum permissible concentrations (MPC) and indicative permissible levels for chemical elements, as well as reference levels of radionuclide concentration.

The total alpha and beta activity in the water of surface water-bodies of the monitored area measured beneath 0.045 Bq/litre, which is below the levels stipulated in the hygienic codes.

Elements of first-class chemical hazard (arsenic, mercury, beryllium) were detected in all samples. Their concentrations

**СРЕДНИЕ И МАКСИМАЛЬНЫЕ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТАЛОЙ ВОДЕ**

AVERAGE AND MAXIMUM CONTENTS OF TOXIC ELEMENTS IN MELTED SNOW WATER

Элемент Element	Класс химической опасности Category of chemical hazard	Удельное содержание, мг/л Specific concentration, mg/litre		ПДК, мг/л MPC, mg/litre
		Максимальное Maximum	Среднее Average	
Hg	1	3,0E-05	1,1E-05	5,0E-04
As		2,9E-03	1,0E-03	1,0E-02
Cd		4,0E-05	2,4E-05	1,0E-03
Pb	2	1,2E-03	2,3E-04	1,0E-02
Se		1,0E-03	2,5E-03	1,0E-02
Sb		2,0E-04	5,3E-05	5,0E-03
Ni		1,2E-03	3,5E-04	2,0E-02
B		1,0E-02	3,7E-02	5,0E-01
Ag		1,0E-04	3,3E-04	5,0E-02
Co		2,0E-04	6,0E-05	1,0E-01
Mo		1,8E-03	7,5E-04	2,5E-01
Sr	4,5E-01	1,9E-01	7,0	
Zn	3	8,0E-03	2,0E-03	1,0E+00
Cu		6,0E-03	1,8E-03	1,0
Cr		5,0E-03	1,0E-03	5,0E-01
Mn		3,0E-02	1,1E-02	1,0E-01
V		1,8E-03	3,8E-04	1,0E-01
Fe		4,0E-02	2,0E-02	3,0E-01
Mg		6,0	4,6	50,0

степень их токсичности определена как «целевой уровень загрязнения», который не требует вмешательства.

Критериями оценки загрязнения воды поверхностных водоемов являются действующие гигиенические и экологические нормативы: предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ, а также контрольные уровни содержания радионуклидов.

Суммарная альфа- и бета-активность воды поверхностных водоемов в зоне наблюдения — менее 0,045 Бк/л, что ниже величин, приведенных в гигиенических требованиях.

Во всех пробах обнаружены элементы первого класса химической опасности — мышьяк, ртуть, бериллий. Но их содержание на порядки ниже ПДК и соответствует требованиям гигиенического норматива, установленного для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Среднее содержание селена в поверхностных водах находится на уровне или незначительно превышает ПДК. Но повышенное содержание селена характерно для объектов окружающей среды Московского региона.

### КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВЫБРОСОВ

Для получения информации о выбросах текущего года наиболее представительными являются пробы снежного покрова, отобранные в марте перед таянием снега. Уплотненный снег в этот период содержит пылевые отложения, накопленные за зимние месяцы.

Аналізу подвергали талую воду. В пробах, отобранных в зоне наблюдения в 2005-2006 годах, не обнаружены значимые содержания техногенных радионуклидов  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{60}\text{Co}$ . Средняя удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  составила 0,05 Бк/л, максимальное значение — 0,3 Бк/л. Все эти значения не превышают уровня вмешательства для питьевой воды.

Содержание тяжелых металлов в талой воде по всем элементам не превышает ПДК для воды объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Работу необходимо продолжить для уточнения и накопления материала и дальнейшей исследования системы показателей экологической безопасности радиационно-опасных объектов и критериев оценки их влияния на окружающую среду.

were orders of magnitude below the MPCs, and well within the hygienic requirements to waters of potable and domestic use. The average selenium content in surface water bodies was within or slightly above the MPC. However, increased selenium concentrations are characteristic of water bodies of the Moscow Region.

### COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF EMISSIONS

The most representative method for obtaining information about the current emissions are samples of the snow blanket taken in March before snow thawing. During this period, compacted snow contains dust deposits accumulated over the winter months.

Melted snow water was analysed. Analysis of samples taken in the monitored area during 2005-2006 did not detect any significant concentrations of man-made radionuclides  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  or  $^{60}\text{Co}$ . The average specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  measured 0.05 Bq/litre, and the maximum detected value was 0.3 Bq/litre. All of these values do not exceed interference levels for potable water.

Heavy metals content in water from melted snow was within the MPCs for waters of potable and domestic use.

This work needs to continue to collect more accurate material and further elaborate the system of environmental safety indicators for radiation-dangerous objects and criteria for assessing their impact on the environment.

СРЕДНИЕ И МАКСИМАЛЬНЫЕ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ (МГ/М<sup>3</sup>)  
AVERAGE AND MAXIMUM CONCENTRATIONS OF TOXIC ELEMENTS IN NEAR-SURFACE ATMOSPHERIC AIR (MG/M<sup>3</sup>)

Элемент Element	п. Новый Novy district		Зона наблюдения Monitored area			ПДКс* MPCad*
	Среднее Average	Стандартное отклонение Standard deviation	Среднее Average	Стандартное отклонение Standard deviation	Максимальное Maximum	
Be	4,4E-08	1,9E-08	2,5E-08	1,8E-08	6,1E-08	1,00E-05
Se	2,0E-06	7,0E-07	1,8E-06	7,9E-07	4,0E-06	5,00E-05
Cd	9,9E-07	5,9E-07	7,9E-07	5,0E-07	2,1E-06	3,00E-04
Hg	5,8E-08	2,2E-08	4,5E-08	1,4E-08	1,1E-07	3,00E-04
As	5,3E-06	1,5E-06	3,3E-06	2,1E-06	6,9E-06	3,00E-04
Zn	8,7E-05	3,3E-05	4,5E-05	3,3E-05	7,2E-04	5,00E-02
Pb	4,9E-05	1,7E-06	3,9E-05	2,9E-05	2,6E-04	3,00E-04
V	1,3E-05	4,7E-06	1,1E-05	3,4E-06	1,9E-05	6,00E-04
Cr	4,8E-06	1,3E-06	3,8E-06	1,4E-06	6,6E-06	8,00E-04
Co	9,0E-07	3,3E-07	4,9E-07	3,6E-07	1,5E-06	4,00E-04
Mn	3,5E-05	1,4E-05	2,4E-05	1,5E-05	6,4E-05	8,00E-04
Ni	5,0E-06	1,6E-06	4,2E-06	1,2E-06	7,3E-06	1,00E-03
Cu	2,8E-05	1,8E-05	1,5E-05	7,8E-06	2,2E-04	2,00E-03
Ba	1,0E-05	3,4E-06	7,2E-06	3,9E-06	1,7E-05	4,00E-03
Mo	5,5E-07	2,0E-07	4,2E-07	2,4E-07	1,0E-06	2,00E-02
Sn	2,2E-06	3,6E-07	1,5E-06	7,1E-07	3,0E-06	2,00E-02
Sb	1,4E-06	1,1E-06	8,2E-07	7,1E-07	7,7E-06	2,00E-02
S	1,2E-02	5,0E-03	1,2E-02	3,5E-03	1,7E-02	3,00E-02
Bi	2,5E-07	9,4E-08	1,7E-07	1,0E-07	6,1E-07	4,00E-02
Mg	3,9E-04	1,8E-04	2,2E-04	1,5E-04	6,1E-04	5,00E-02
Cl	6,2E-01	2,2E-01	5,4E-01	1,8E-01	8,6E-01	1,50E-02

\* - среднесуточная предельно допустимая концентрация  
\* - average daily maximum permissible concentration