

## КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДНЫХ СКОПЛЕНИЯХ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В 2007 - 2008 гг.

А. А. Одинцов, В. Е. Хан, В. А. Краснов, В. Н. Щербин

Представлены результаты регулярного контроля концентраций урана и объемных активностей  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и трансурановых элементов ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ) в воде, отобранной из неорганизованных водных скоплений на нижних отметках объекта «Укрытие».

*Ключевые слова:* уран, радионуклиды, жидкие радиоактивные отходы, объект «Укрытие»

### Введение

Наличие воды внутри объекта «Укрытие» обуславливает возможность протекания химических процессов, которые могут приводить к межфазовому перераспределению урана, продуктов деления и трансурановых элементов (ТУЭ), их мобилизации, переносу и накоплению в помещениях, расположенных на нижних отметках объекта «Укрытие». Взаимодействие водных растворов с лавообразными топливосодержащими материалами объекта «Укрытие» следует рассматривать как потенциальный фактор ядерной, радиационной и радиозоологической опасности.

Проблемам, связанным с неорганизованными водными скоплениями на нижних отметках объекта «Укрытие», представляющими собой жидкие радиоактивные отходы (ЖРО), посвящен ряд работ [1 - 4]. Установлено, что изменение концентраций урана и объемной активности радионуклидов носит сезонный характер и в зависимости от режима поступления атмосферных осадков и изменения температуры воздуха содержание урана и радионуклидов в водных скоплениях может значительно изменяться. Деградация топливосодержащих материалов приводит к ускорению процессов растворения и выщелачивания урана и радионуклидов.

Систематические исследования характеристик ЖРО объекта «Укрытие» является составной частью контроля ядерной и радиационной безопасности.

Цель настоящей работы – изучение динамики изменения концентраций урана и объемной активности радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и ТУЭ в ЖРО объекта «Укрытие».

### Результаты контроля концентраций урана и содержания радионуклидов в водных скоплениях

Для определения концентраций урана ( $\text{мг/дм}^3$ ), удельной активности радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{244}\text{Cm}$  ( $\text{Бк/дм}^3$ ) и стабильных компонентов  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  ( $\text{мг/дм}^3$ ) в скоплениях ЖРО на нижних отметках объекта «Укрытие» регулярно отбирались пробы воды. Основные водные скопления находятся в помещении 001/3 вспомогательных систем реакторного отделения (ВСРО), в северной и южной частях бассейна-барботера и в юго-восточной части блока Б. Номера помещений и строительные координаты точек отбора проб воды приведены в табл. 1.

Содержание урана, продуктов деления, плутония, америция и кюрия определяли из одной пробы воды по ионообменной методике, описанной в работе [5]. Активность  $^{90}\text{Sr}$  определяли  $\beta$ -радиометрическими измерениями,  $^{137}\text{Cs}$  –  $\gamma$ -спектрометрическими измерениями,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{244}\text{Cm}$  –  $\alpha$ -спектрометрическими измерениями. Погрешность определения концентрации урана и объемной активности радионуклидов не превышала 10 – 15 %.

В табл. 2 и 3 представлены результаты наблюдений в 2007 и 2008 гг. концентраций урана и удельных активностей радионуклидов в водных скоплениях на нижних отметках объекта «Укрытие».

Согласно классификации ЖРО, по критерию удельной активности [6] низкоактивные, среднеактивные и высокоактивные ЖРО определяются по интервалу значений удельной

активности ЖРО в единицах кратности  $PC_B^{ingest}$ . Для среднеактивных ЖРО интервал кратности составляет  $\geq 10^2 < 10^6$ , а высокоактивных  $\geq 10^6$ . Значения  $PC_B^{ingest}$  для радионуклидов приведены в НРБУ-97 [7]:  $^{90}Sr - 1 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>3</sup>,  $^{137}Cs - 1 \cdot 10^5$  Бк/м<sup>3</sup>,  $^{238}Pu$ ,  $^{239}Pu$ ,  $^{240}Pu - 1 \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup> и  $^{241}Am - 1 \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup>. В целом все ЖРО в обследованных водных скоплениях попадают в категорию среднеактивных жидких отходов, коэффициент кратности по  $^{137}Cs$   $10^4 - 10^5$ , по ТУЭ  $10^2 - 10^4$ , по  $^{90}Sr$   $10^3 - 10^5$ . Однако ЖРО в помещении 012/7 и 012/8 (южная часть бассейна-барботера) по  $^{90}Sr$  могут быть отнесены к категории высокоактивных отходов, так как коэффициент кратности составляет  $(1,1 - 1,7) \cdot 10^6$ .

Таблица 1. Координаты точек отбора проб воды

Номер точки отбора	Номер помещения	Строительные координаты		
		отметка, м	ряд	ось
6	012/16	+ 2,2	Ж-Е	48-49
10	318/2	+ 12,5	Е-Ж	44-45
13	061/2	+ 6,0	Н-М	41-42
14	406/2	+ 12,5	Е-Ж	43-44
17	014/2	- 0,65	Д-Е	44-45
18	017/2	- 0,65	И-Ж	43-44
20	01/3	+ 2,5	У	труба из ПРК
21	012/13	+ 2,2	Р	46-45
30	001/3	- 1,20	У-У1	49-50
31	012/5	- 0,65	С-Т	46-45
32	012/7	- 0,65	Д-Е	47-48
35	012/8	- 0,65	Д-Е	49
36	061/2	+ 6,0	Е-Ж	42-41

Таблица 2. Содержание урана (г/м<sup>3</sup>) и радионуклидов (Бк/м<sup>3</sup>) в ЖРО объекта «Укрытие» в 2007 г.

Номер точки отбора	Уран	$^{90}Sr$	$^{137}Cs$	$^{238}Pu$	$^{239+240}Pu$	$^{241}Am$	$^{244}Cm$
6	32	$7,5 \cdot 10^9$	$3,8 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^6$	$2,7 \cdot 10^6$	$2,7 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^6$
10	0,55	$5,2 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^4$
13	7,2	$3,8 \cdot 10^9$	$2,2 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^5$	$3,6 \cdot 10^5$	$9,2 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^4$
14	0,95	$1,2 \cdot 10^7$	$3,3 \cdot 10^8$	$4,1 \cdot 10^5$	$9,4 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^6$	$6,3 \cdot 10^4$
17	1,9	$4,8 \cdot 10^8$	$2,9 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^6$	$5,8 \cdot 10^4$
18	1,5	$1,1 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^9$	$1,3 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^6$	$4,1 \cdot 10^4$
20	29	$3,9 \cdot 10^9$	$2,3 \cdot 10^{10}$	$1,7 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^7$	$7,7 \cdot 10^5$
21	4,9	$3,2 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^{10}$	$3,5 \cdot 10^4$	$8,5 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^5$	$8,7 \cdot 10^3$
30	7,8	$2,1 \cdot 10^9$	$7,5 \cdot 10^9$	$5,0 \cdot 10^5$	$9,8 \cdot 10^5$	$9,7 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^5$
31	34	$8,7 \cdot 10^9$	$4,2 \cdot 10^{10}$	$1,2 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^6$	$4,6 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^6$
32	26	$1,7 \cdot 10^{10}$	$4,0 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^6$	$5,3 \cdot 10^6$	$7,1 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^6$
35	18	$1,1 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^6$
36	1,3	$6,8 \cdot 10^8$	$5,7 \cdot 10^9$	$4,6 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^6$	$4,7 \cdot 10^4$

В 2008 г. ЖРО, поступающие в помещение 01/3 из трубы, ведущей из парораспределительного коридора (ПРК) (точка отбора 20), также можно отнести к категории высокоактивных отходов, коэффициент кратности по  $^{90}Sr$  составляет  $1,1 \cdot 10^6$ .

Максимальные концентрации радионуклидов и урана в пробах ЖРО из помещений 1-го и 2-го этажей бассейна-барботера (точки 6, 21, 31 и 32) в 2008 г. составили: по  $^{137}Cs - 4,9 \cdot 10^{10}$  Бк/м<sup>3</sup> в феврале, точка 31; по  $^{90}Sr - 2,2 \cdot 10^{10}$  Бк/м<sup>3</sup> в апреле, точка 32; по урану – 40 г/м<sup>3</sup> в мае и июне, точки 31 и 6 соответственно. Указанные концентрации не превысили ранее зафиксированные максимальные значения (рис. 1 - 4).

Таблица 3. Содержание урана (г/м<sup>3</sup>) и радионуклидов (Бк/м<sup>3</sup>) в ЖРО объекта «Укрытие» в 2008 г.

Номер точки отбора	Уран	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>238</sup> Pu	<sup>239+240</sup> Pu	<sup>241</sup> Am	<sup>244</sup> Cm
6	35	$7,9 \cdot 10^9$	$3,9 \cdot 10^{10}$	$3,7 \cdot 10^6$	$7,1 \cdot 10^6$	$7,5 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^6$
10	0,30	$5,8 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^5$	$5,9 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^4$
13	1,2	$1,3 \cdot 10^9$	$9,1 \cdot 10^9$	$5,6 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^4$
14	1,3	$2,8 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^8$	$7,9 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^6$	$7,0 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^5$
17	4,5	$3,4 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^9$	$1,8 \cdot 10^5$	$4,3 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^6$	$5,7 \cdot 10^4$
18	0,63	$1,2 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^9$	$2,7 \cdot 10^5$	$6,4 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^5$
20	63	$1,1 \cdot 10^{10}$	$3,4 \cdot 10^{10}$	$3,5 \cdot 10^6$	$7,3 \cdot 10^6$	$8,5 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^6$
21	1,5	$3,1 \cdot 10^7$	$6,6 \cdot 10^9$	$6,4 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^6$	$3,1 \cdot 10^4$
30	9,6	$2,8 \cdot 10^9$	$8,6 \cdot 10^9$	$1,3 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^6$
31	34	$8,4 \cdot 10^9$	$3,9 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^6$	$5,4 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^6$
32	22	$1,4 \cdot 10^{10}$	$3,4 \cdot 10^{10}$	$3,4 \cdot 10^6$	$6,7 \cdot 10^6$	$8,7 \cdot 10^7$	$3,8 \cdot 10^6$
35	28	$1,2 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^{10}$	$2,4 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^6$	$5,7 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^6$
36	0,80	$6,1 \cdot 10^8$	$2,9 \cdot 10^9$	$2,1 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^4$

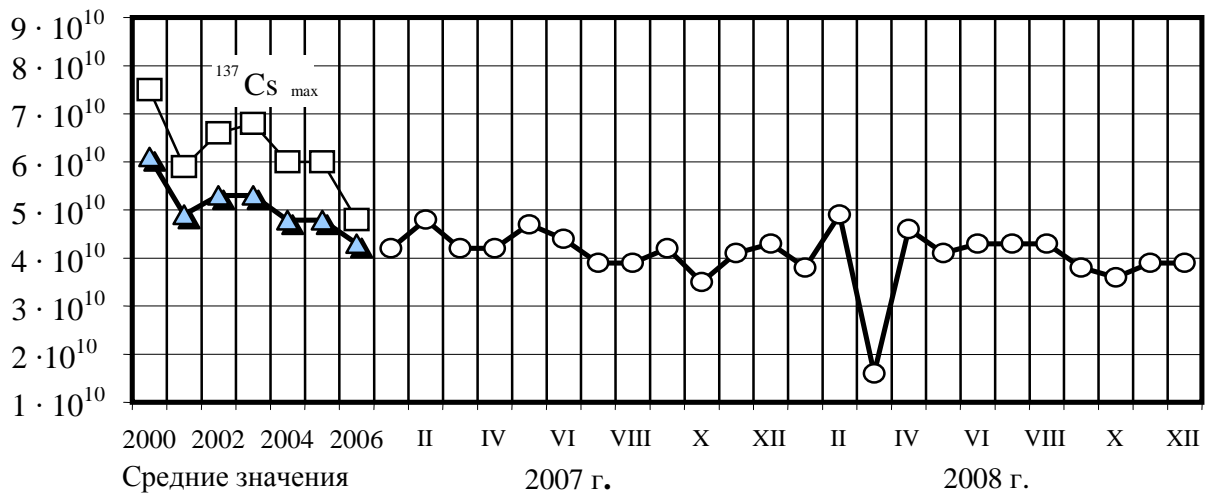


Рис. 1. Динамика удельной активности <sup>137</sup>Cs (Бк/м<sup>3</sup>) в скоплениях ЖРО в помещении 012/5 (север, точка 31).

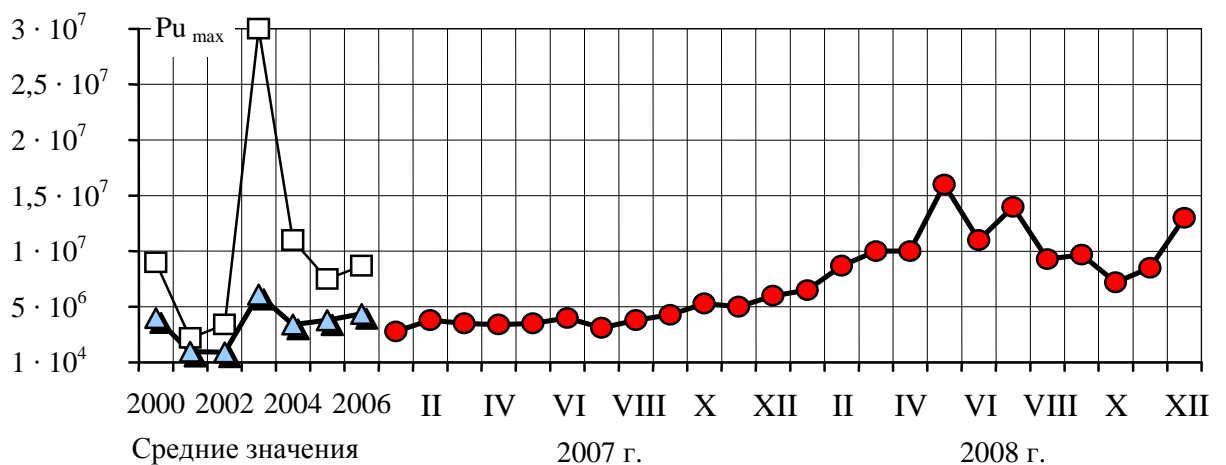


Рис. 2. Динамика удельной активности <sup>238</sup>Pu + <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu (Бк/м<sup>3</sup>) в скоплениях ЖРО в помещении 012/16 (юг, точка б).

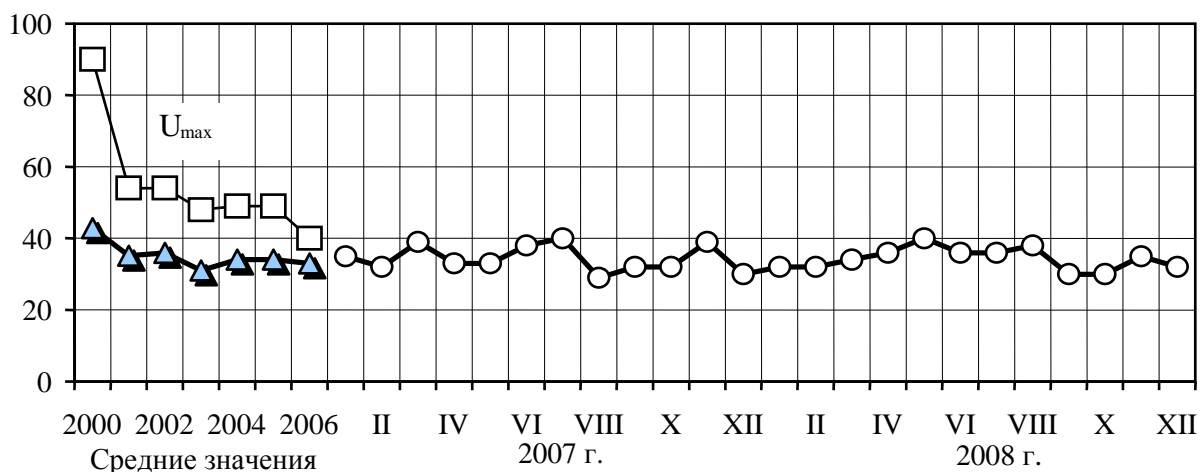


Рис. 3. Динамика концентрации урана ( $\text{г/м}^3$ ) в скоплениях ЖРО в помещении 012/5 (север, точка 31).

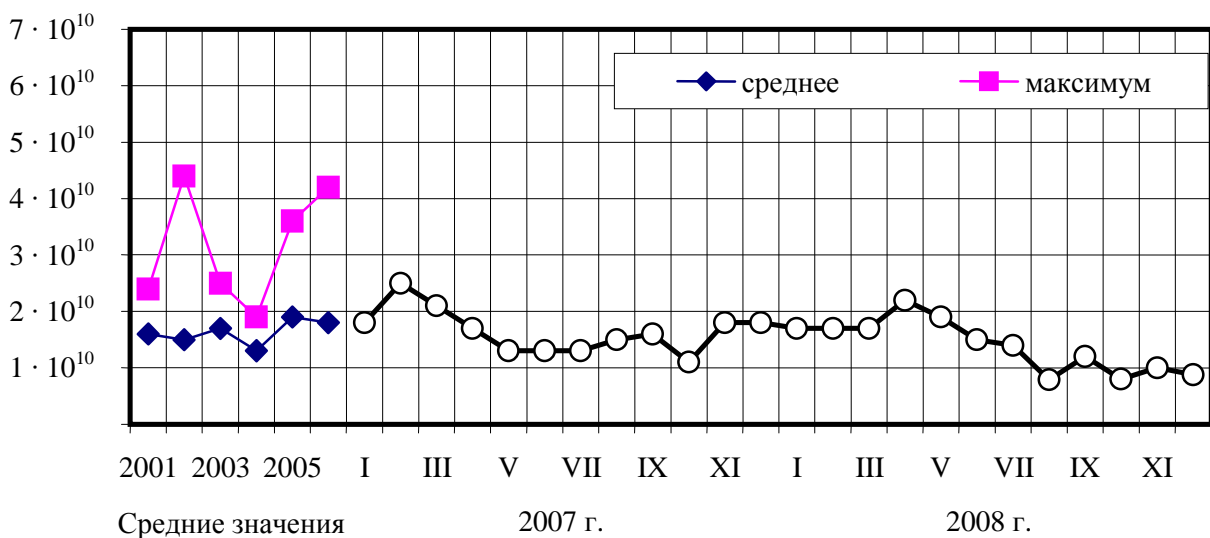


Рис. 4. Динамика удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  ( $\text{Бк/м}^3$ ) в скоплениях ЖРО в помещении 012/7 (юг, точка 32).

Анализ динамики концентрации урана и удельной активности радионуклидов в помещениях бассейна-барботера показывает, что, несмотря на сезонные колебания, отсутствует устойчивая тенденция к увеличению или уменьшению средних концентраций компонентов в ЖРО.

При пробоотборе ЖРО в северной части 1-го этажа бассейна-барботера в ноябре – декабре отмечено существенное уменьшения объемов водных скоплений. Снижение объемов ЖРО произошло в результате отсутствия поступления атмосферных осадков. В октябре и ноябре выпало 20 и 29 мм осадков при средне месячной норме 54,8 мм. Освобожденные от воды участки пола были покрыты высокоактивными донными отложениями. Необходимо отметить, что дальнейшее высыхание донных отложений в случае полного прекращения протечек в северной части бассейна-барботера может привести к значительному повышению концентрации радиоактивных аэрозолей в этих и смежных с ними помещениях.

Вертикальные протечки из восточной и юго-восточной части центрального зала (ЦЗ) в шахту ремонта РЗМ и другие помещения, расположенные под восточной частью ЦЗ, формируют юго-восточный поток ЖРО. В горизонтальном направлении юго-восточный поток ЖРО собирается в помещениях 017/2 и 061/2 и за счет уклона застывшего бетонного

наплыва стекает в южную часть этих помещений. Из помещения 017/2 через дверной проем поток ЖРО попадает в помещение 018/2. В этом помещении, согласно проектной документации, находится сливное отверстие системы сбора трапных вод. Кроме того, происходит утечка воды из помещения 017/2 в помещение коридора трубопроводов (помещение 025/2) и далее в помещении 0025 и помещение 071.

В примыкающих к бассейну-барботеру с юго-востока на отметке 0,00 м помещениях 014/2 (точка 17) и 017/2 (точка 18) в 2008 г. концентрации радионуклидов не превысили ранее наблюдавшиеся их максимальные значения и составили: по  $^{137}\text{Cs}$  -  $2,8 \cdot 10^9$  Бк/м<sup>3</sup> в январе, точка 17; по  $^{90}\text{Sr}$  -  $7,8 \cdot 10^8$  Бк/м<sup>3</sup> в феврале, точка 17; по урану -  $3,9$  г/м<sup>3</sup> в феврале, точка 17.

Протечки из скважин, пробуренных из помещения 207/5 в направлении помещения 305/2, собираются в коллекторе и выводятся в южную часть помещения 012/8 (точка 35). Расход воды из этих скважин определяется интенсивностью атмосферных осадков. Максимальные концентрации радионуклидов и урана в этих протечках в 2008 г. составили: по  $^{137}\text{Cs}$  -  $5,3 \cdot 10^{10}$  Бк/м<sup>3</sup> в ноябре; по  $^{90}\text{Sr}$  -  $1,8 \cdot 10^{10}$  Бк/м<sup>3</sup> в ноябре и урана -  $65$  г/м<sup>3</sup> в мае. Максимальное содержание плутония и урана наблюдались после проведения сеансов пылеподавления в апреле - мае 2008 г (рис. 5 и 6).

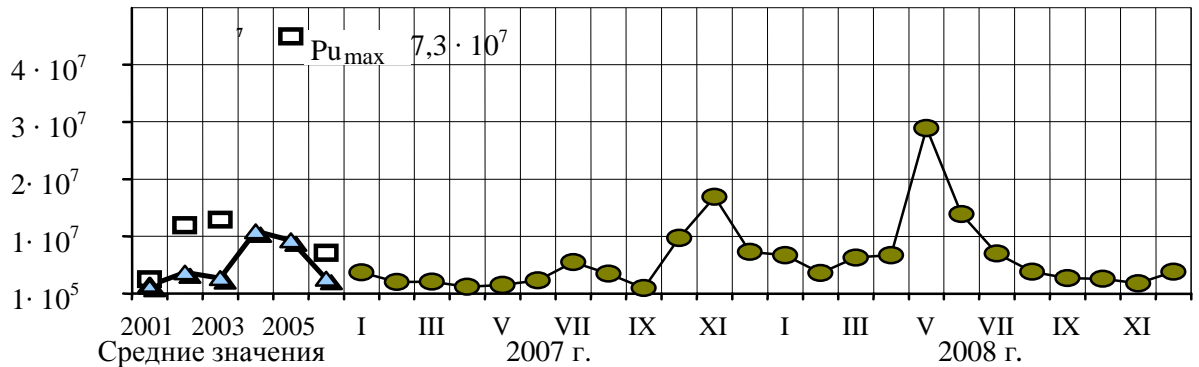


Рис. 5. Динамика удельной активности  $^{238} + ^{239} + ^{240}\text{Pu}$  в протечках из скважин в помещении 305/2 (точка 35).

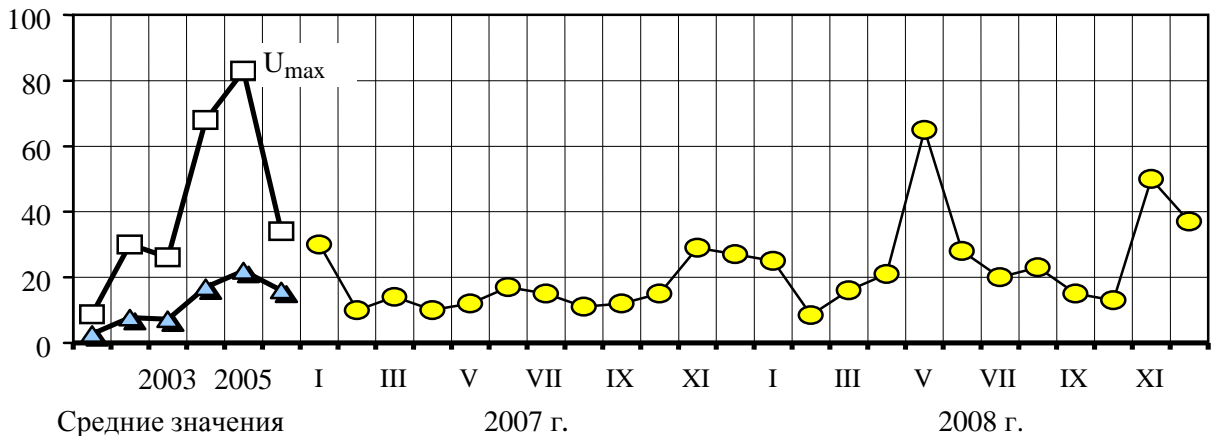


Рис. 6. Динамика концентрации урана (г/м<sup>3</sup>) в протечках из скважин в помещении 305/2 (точка 35).

В помещении 001/3 ВСРО расположено самое крупное водное скопление объекта «Укрытие». Здесь аккумулируется большая часть ЖРО, образовавшихся в северной части блока Б. Помещение 001/3 расположено между рядами У и У/1 и осями 42 и 51'. Длина помещения 57 м, ширина до отметки -1,485 м составляет 6 м. Ниже, на отметке -2,6 м, ширина пола составляет 3 м за счет откоса со стороны ряда У. Проектная отметка пола -2,60 м. Проектная отметка потолка +0,25 м. До аварии помещение располагалось между осями 24 - 51' и имело длину 162 м. В процессе ликвидации аварии между осями 41 и 42 была устроена разделительная стена.

В настоящее время в помещение 001/3 нет прямого доступа: лестница по ряду У между осями 51 - 51' на глубине одного пролета залита водой. Кроме того, эту лестницу от основного помещения отделяет стена, в которой имеется дверь, также на 3/4 залитая водой. В связи с этим исследования проводятся через пробуренную в полу помещения 01/3 скважину (точка наблюдения 30).

Уровень воды в помещении 001/3 постоянно держится на отметке -0,9 м в строительных отметках или 113,1 м в Балтийской системе высот.

Динамика концентраций радионуклидов, урана и ТУЭ в помещении 001/3 обусловлена поступлением высокоактивных протечек со стороны бассейна-барботера и низкоактивных протечек со стороны каскадной стены. Переток ЖРО из бассейна-барботера в помещение 001/3 и, как следствие, повышение концентрации радионуклидов начинается в период интенсивного поступления влаги в объект «Укрытие» в весенне-летний период. Преимущественное поступление низкоактивных протечек со стороны каскадной стены осенью и зимой приводит к разбавлению ЖРО в помещении 001/3.

В 2008 г. максимальные концентрации радионуклидов и урана в водном скоплении помещения 001/3 составили:  $^{137}\text{Cs}$  –  $1,1 \cdot 10^{10}$  Бк/м<sup>3</sup> в октябре;  $^{90}\text{Sr}$  –  $3,5 \cdot 10^9$  Бк/м<sup>3</sup> в июне; по урану 15 г/м<sup>3</sup> в августе. Объемные активности плутония, америция и кюрия были наибольшими за все годы наблюдений (рис. 7).

Поток ЖРО, проходящий через точку 20, относительно небольшой, но он вытекает из парораспределительного коридора (ПРК) и характеризует центральный поток ЖРО через реакторное пространство и расположенные ниже по потоку помещения (помещение 305/2 → ПРК → бассейн-барботер → помещение 001/3 → помещение 0005). Максимальные объемные активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в протечках ЖРО из ПРК (точка 20) в 2008 г. составили  $5,5 \cdot 10^{10}$  и  $1,5 \cdot 10^{10}$  Бк/м<sup>3</sup> соответственно и наблюдались в ноябре. Максимальная концентрация урана 90 г/м<sup>3</sup> была в ноябре. Максимальная объемная активность  $\text{Pu}_{\Sigma}$  ( $^{238}\text{Pu}$  +  $^{239}\text{Pu}$  +  $^{240}\text{Pu}$ ) в 2008 г. наблюдалась в июне -  $1,6 \cdot 10^7$  Бк/м<sup>3</sup>. Указанные концентрации не превысили ранее зафиксированные их максимальные значения.

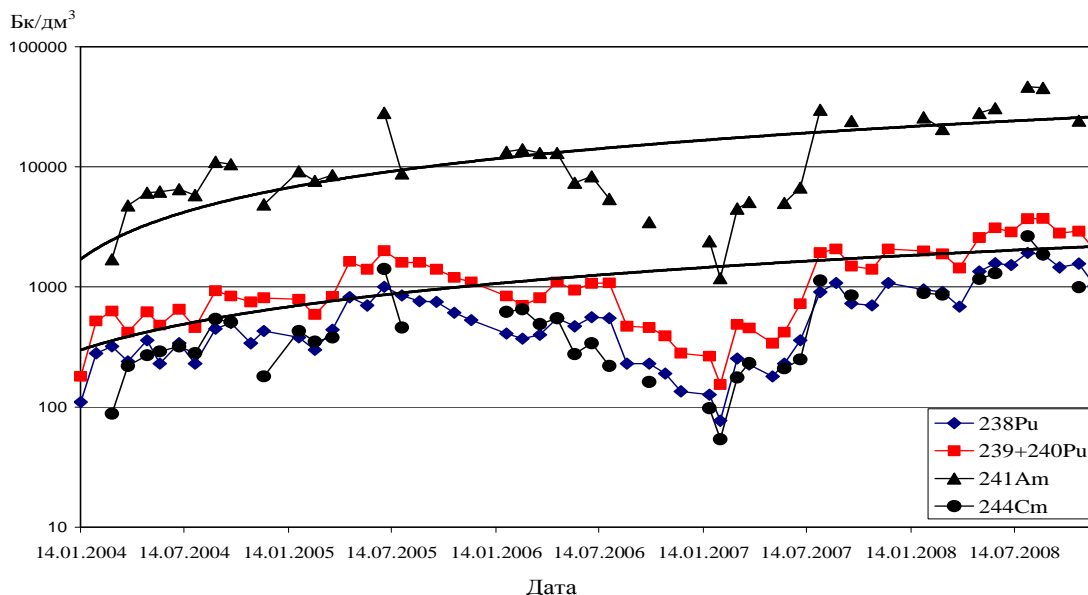


Рис. 7. Объемная активность ТУЭ в ЖРО помещения 001/3 (точка отбора 30).

На рис. 8 – 11 представлены среднегодовые концентрации радионуклидов и урана в ЖРО из ПРК за период наблюдения 1996 – 2008 гг. Как видно из рисунков, после понижения в 2006 г. в последующие годы наблюдается тенденция к увеличению концентраций радионуклидов и урана, причем содержание стронция и урана превысили максимальные значения, наблюдавшиеся в 2004 – 2005 гг. Причина такого повышения пока неясна, для анализа полученных данных требуются дополнительные наблюдения.

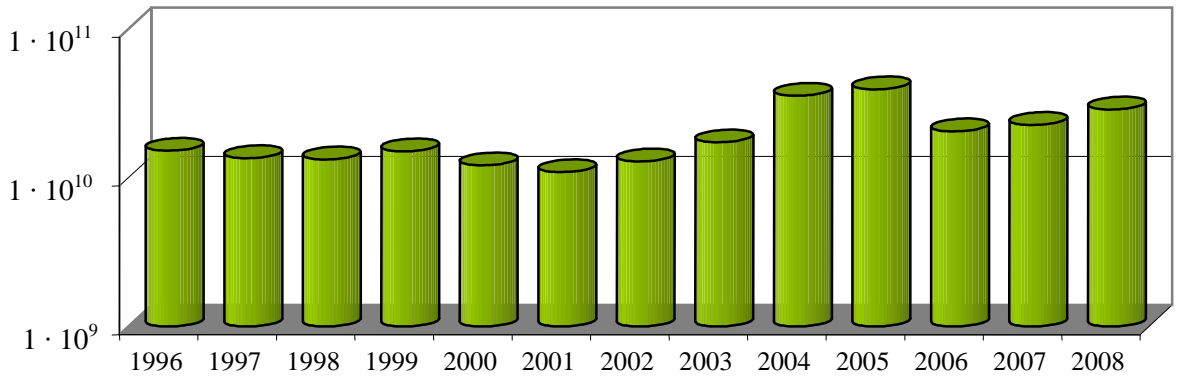


Рис. 8. Динамика среднегодовой удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/м<sup>3</sup>) в ЖРО из ПРК.

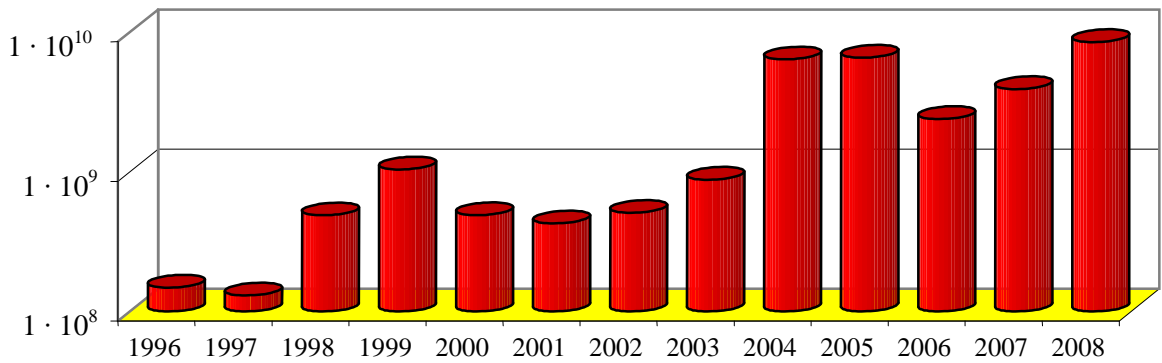


Рис. 9. Динамика среднегодовой удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  (Бк/м<sup>3</sup>) в ЖРО из ПРК.

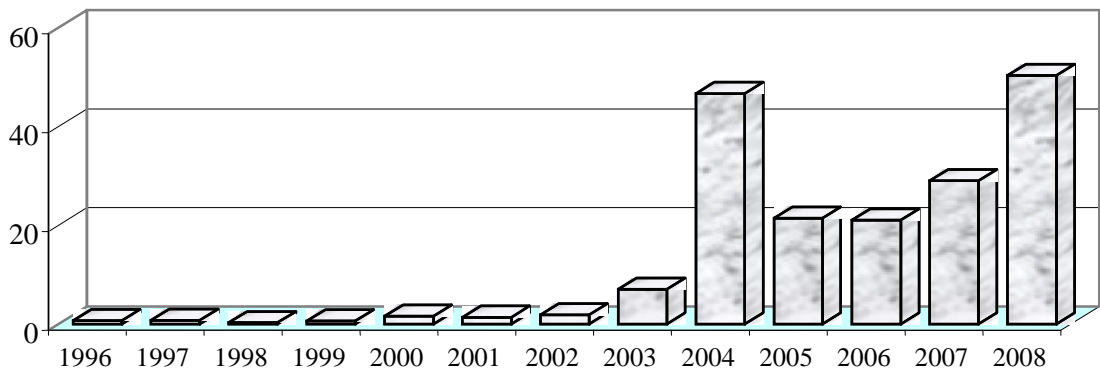


Рис. 10. Динамика среднегодовой концентрации урана (г/м<sup>3</sup>) в ЖРО из ПРК.

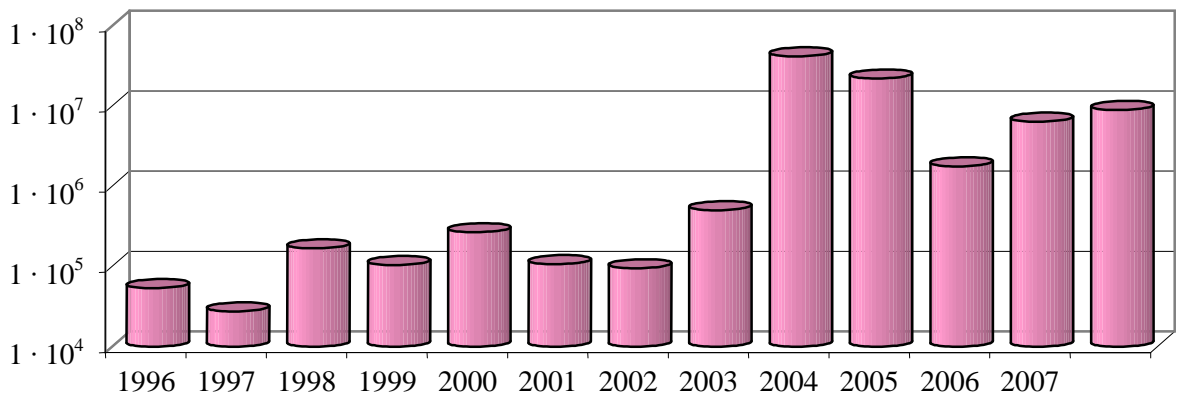


Рис. 11. Динамика среднегодовой удельной активности  $^{238+239+240}\text{Pu}$  (Бк/м<sup>3</sup>) в ЖРО из ПРК.

Одним из основных  $\alpha$ -излучателей в ЖРО объекта «Укрытие» является  $^{241}\text{Am}$ . Содержание  $^{241}\text{Am}$  в ЖРО объекта "Укрытие" изменяется в широком интервале от  $3,1 \cdot 10^4$  до  $1,4 \cdot 10^8$  Бк/м<sup>3</sup>. Максимальная объемная активность  $^{241}\text{Am}$   $1,4 \cdot 10^8$  Бк/м<sup>3</sup> была 13 мая 2008 г. в помещении 01/3 (труба из ПРК, точка отбора 20).

На рис. 12 видно, что объемная активность  $^{241}\text{Am}$  в водных скоплениях контролируемых помещений объекта «Укрытие» в 2008 г. (за исключением точек 13, 35 и 36) превышала средние значения 2007 г. Изменения объемной активности  $^{241}\text{Am}$  на протяжении года, также как и остальных радионуклидов, носит сезонный характер и зависит от интенсивности атмосферных осадков.

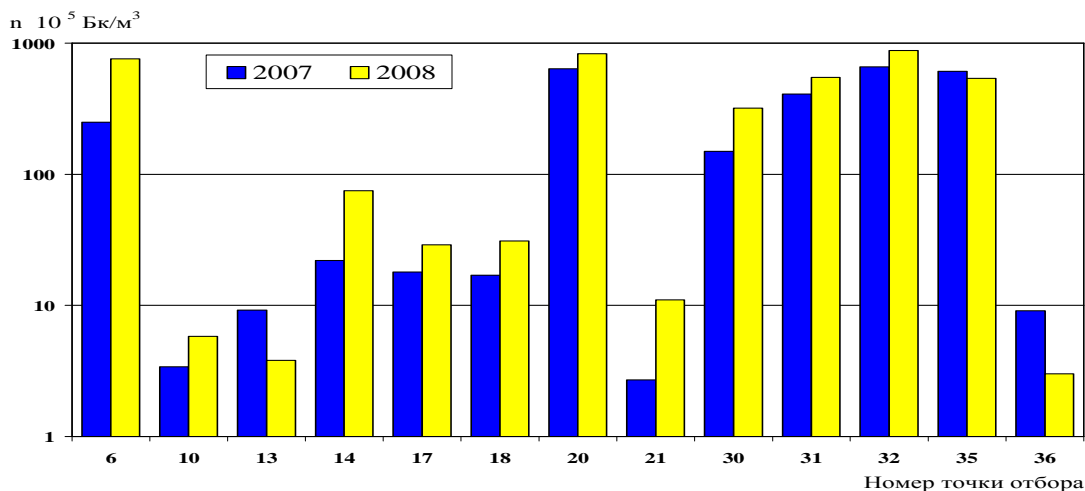


Рис. 12. Среднегодовая объемная активность  $^{241}\text{Am}$  в ЖРО объекта «Укрытие».

Таблица 4. Отношения активностей  $^{238}\text{Pu}$  к активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в ЖРО объекта «Укрытие»

Направление потока	Помещение (точка отбора)	$^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$		
		2006 г.	2007 г.	2008 г.
Север	01/3 ПРК (20)	0,49 ± 0,02	0,47 ± 0,02	0,48 ± 0,02
	012/3 (21)	0,45 ± 0,04	0,41 ± 0,04	0,41 ± 0,03
	001/3 (30)	0,50 ± 0,02	0,50 ± 0,02	0,51 ± 0,02
	012/6 (31)	0,53 ± 0,03	0,51 ± 0,02	0,51 ± 0,02
Юг	012/16 (6)	0,52 ± 0,03	0,52 ± 0,02	0,52 ± 0,02
	012/7 (32)	0,52 ± 0,03	0,51 ± 0,02	0,50 ± 0,02
	012/8 (35)	0,50 ± 0,02	0,48 ± 0,04	0,47 ± 0,04
Восток	405/2 (10)	0,45 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,44 ± 0,04
	061/2 (13)	0,47 ± 0,02	0,43 ± 0,01	0,43 ± 0,05
	406/2 (14)	0,45 ± 0,03	0,46 ± 0,03	0,44 ± 0,02
	061/2 (36)	0,46 ± 0,02	0,45 ± 0,02	0,44 ± 0,03
Юго-восток	014/2 (17)	0,48 ± 0,03	0,44 ± 0,02	0,42 ± 0,03
	017/2 (18)	0,45 ± 0,02	0,44 ± 0,02	0,43 ± 0,02
Центр	Скважина 3-9-К	0,49 ± 0,01	0,48 ± 0,01	0,48 ± 0,02
Базовый состав топлива 4-го блока ЧАЭС		0,503 (01.07.2006)	0,498 (01.07.2007)	0,494 (01.07.2008)

Отношение активности  $^{238}\text{Pu}$  к активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в воде, отобранной в различных помещениях объекта «Укрытие» представлено в табл. 4 (средние значения для 4 – 12 проб в зависимости от периодичности отбора проб). Отношение  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  изменяется от 0,41 до



0,52, что свидетельствует о различном выгорании топлива, растворенного в водных скоплениях. Значимых изменений относительного содержания изотопов плутония в 2008 г. не наблюдается. На рис. 13 показаны значения отношений активности  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  в ЖРО объекта «Укрытие» и расчетное значение для топлива 4-го блока со средним выгоранием. В водных скоплениях на первом этаже бассейна-барботера (точки отбора 31 и 32), южной части 2-го этажа (точка отбора 6) и в помещении 001/3 (точка отбора 30) относительное содержание  $^{238}\text{Pu}$  выше, чем в «среднем» топливе. Самое низкое значение отношений активности  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  (0,41) в течение последних лет наблюдается в северной части 2-го этажа бассейна-барботера (точка отбора 21).

Как следует из рис. 14, практически во всех скоплениях ЖРО отношение  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  значительно выше значения для базового состава облученного топлива 4-го блока ЧАЭС. В помещениях 012/5-8 отношение  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  превышает расчетное значение почти в 10 раз. Следует отметить, что для отдельных водных скоплений характерно свое значение отношения  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ , которое устойчиво сохранялось в течение всего 2008 г. В восточных и юго-восточных водных скоплениях отношение  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  в два-три раза ниже, чем в северных и южных водных скоплениях. Следует отметить, что в 2008 г. по сравнению с 2006 и 2007 г. в водных скоплениях северной части помещения 012/13 (точка отбора 21) наблюдается тенденция к увеличению отношения активности  $^{241}\text{Am}$  к активности  $^{239+240}\text{Pu}$  от 2,1 до 6,1 (см. рис. 14). Это увеличение относительного содержания  $^{241}\text{Am}$  значительно превышает рост активности  $^{241}\text{Am}$  за счет распада  $^{241}\text{Pu}$  (отношение  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  в базовом топливе возросло от 1,54 в 2006 г. до 1,62 в 2008 г.).

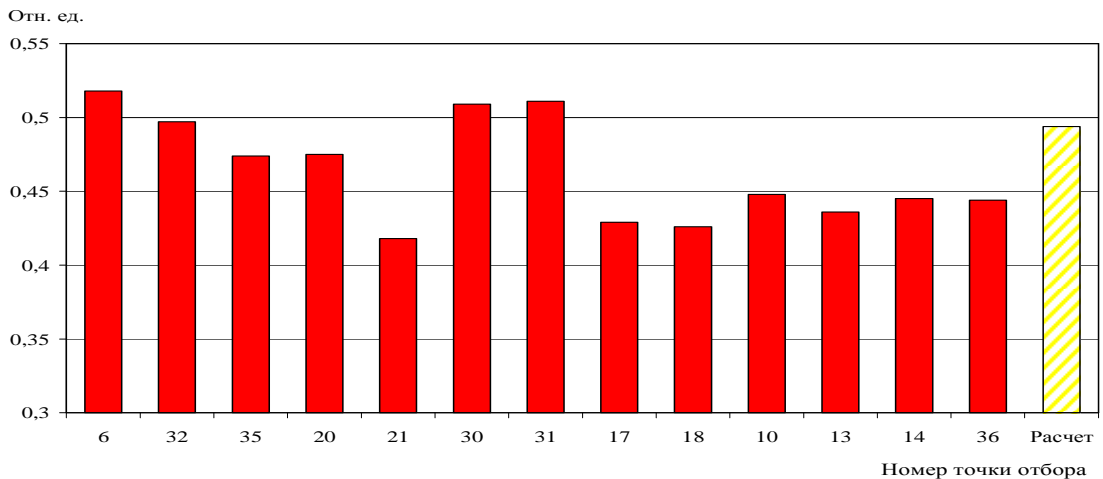


Рис. 13. Отношение активности  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  в основных скоплениях ЖРО объекта «Укрытие».

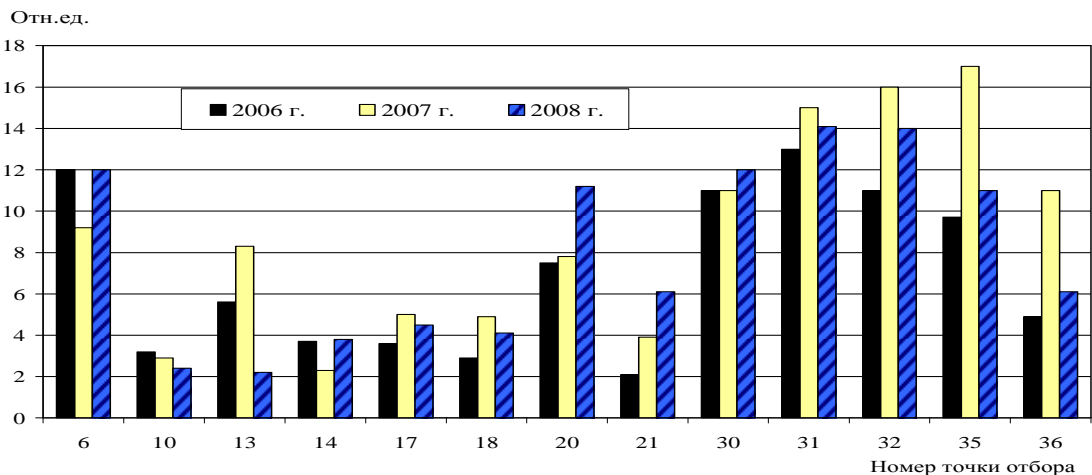


Рис. 14. Отношение активности  $^{241}\text{Am}$  к активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в ЖРО объекта «Укрытие»

Увеличение объемной активности америция относительно плутония в воде неорганизованных водных скоплений, вероятно, обусловлено большей растворимостью америция в растворе сложного химического состава, каковым являются ЖРО объекта «Укрытие». В щелочных растворах плутоний гидролизует и образует малорастворимые соединения. Возможна также вторичная сорбция плутония на дисперсной фазе «блочной воды».

Одним из факторов, влияющих на значительное увеличение относительного содержания  $^{241}\text{Am}$  в ЖРО в северной части помещения 012/13, может являться заметное уменьшение содержания карбонатов и гидрокарбонатов в воде данного помещения. На рис. 15 показана динамика изменения концентраций карбонатов и гидрокарбонатов в ЖРО помещения 012/13. Наблюдается обратная зависимость между величиной отношения  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  и концентрацией ионов  $\text{CO}_3^{2-}$ . С понижением концентрации  $\text{CO}_3^{2-}$  повышается значение отношения активностей  $^{241}\text{Am} / ^{239+240}\text{Pu}$ .

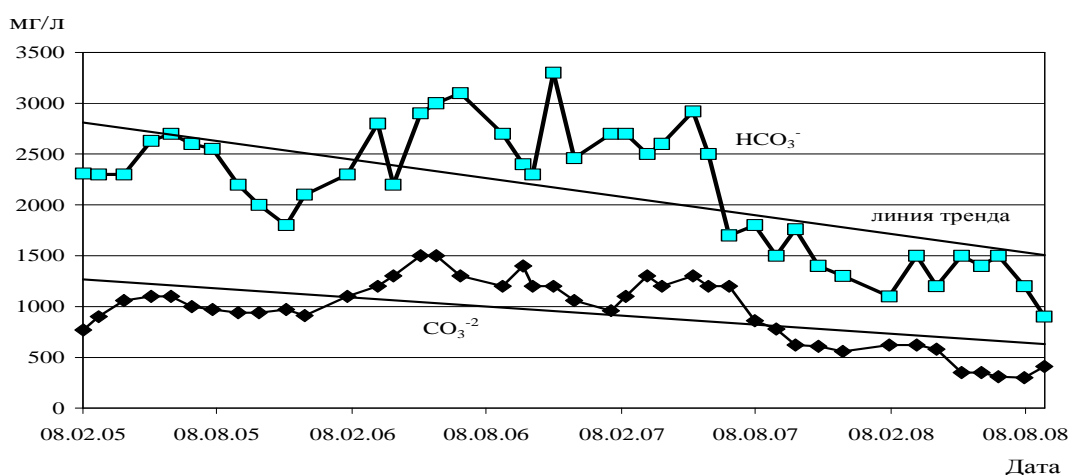


Рис. 15. Концентраций карбонатов и гидрокарбонатов в ЖРО помещения 012/13 (точка отбора 21).

### Выводы

Результаты контроля неорганизованных протечек ЖРО объекта «Укрытие» показали, что максимальная величина объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  на протяжении 2007 - 2008 гг. была меньше нормируемой концентрации радионуклида в технологических водах объекта "Укрытие" ( $1,85 \cdot 10^{12}$  Бк/м<sup>3</sup>). Максимальные величины объемной активности  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $\text{Pu}_{\Sigma}$  и концентрации урана, как и в предыдущие годы, наблюдались в скоплениях ЖРО 1-го этажа бассейна-барботера и протечках из ПРК.

Практически для каждого скопления ЖРО характерны свои специфические соотношения между различными радионуклидами.

В ЖРО доля  $^{244}\text{Cm}$  и  $^{241}\text{Am}$  в суммарной активности ТУЭ по сравнению с ТСМ в 5 – 10 раз выше.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Креницын А.П., Корнеев А.А., Стрихарь О.Л., Щербин В.Н. О механизме формирования жидких радиоактивных отходов в помещениях блока Б и ВСРО // Проблемы Чернобиля. – 2002. - Вип. 9. – С. 98 – 104.
2. Корнеев А. А., Креницын А. П., Стрихарь О. Л., Щербин В. Н. Жидкие радиоактивные отходы внутри объекта «Укрытие» // Радиохимия. – 2002. – Т. 44, № 6. – С. 545 – 552.
3. Креницын А. П., Стрихарь О. Л., Щербин В. Н. Проблема обращения с жидкими радиоактивными отходами объекта «Укрытие» // Там же – 2003. – Т. 45, № 5. – С. 461 – 465.
4. Одинцов А.А., Хан В.Е., Краснов В.А., Щербин В.Н. Объемная активность трансурановых элементов в жидких радиоактивных отходах объекта «Укрытие», влияющих на ядерную и радиационную безопасность // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2008. – Вип. 9. – С. 80 – 93.

5. *Одинцов А. А., Пазухин Э.М., Хан В. Е.* Методика одновременного определения содержания урана и трансураниевых элементов в грунтовой воде и жидких радиоактивных отходах объекта «Укрытие» // *Радиохимия*. – 2005. – Т. 47, № 5. – С. 467 – 471.
6. *Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности Украины*. – К., 2005. – 62 с.
7. *Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97)*. – К., 1997. – 121 с.

**КОНТРОЛЬ ВМІСТУ РАДІОНУКЛІДІВ У РІДКИХ СКУПЧЕННЯХ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»  
В 2007 – 2008 рр.**

**О. О. Одинцов, В. Є. Хан, В. О. Краснов, В. М. Щербін**

Представлено результати регулярного контролю концентрацій урану та об'ємних активностей  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  і трансураниевих елементів ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ) у воді неорганізованих водних скупчень на нижніх відмітках об'єкта «Укриття» в 2007 – 2008 рр.

*Ключові слова:* уран, радіонукліди, рідкі радиоактивні відходи, об'єкт «Укриття».

**CONTROL OF CONTENTS RADIONUCLIDES IN THE WATER OBJECT “UKRYTTYA”  
IN 2007 - 2008**

**O. O. Odintsov, V. E. Khan, V. O. Krasnov, V. M. Tscherbin**

The results of regular control of concentrations of uranium are presented and volumes activity  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and transuranium ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ) in water of the unorganized waters accumulations on the lower marks of object «Ukryttya» in 2007 – 2008 a.a.

*Keywords:* uranium, radionuclide, liquid radioactive waster, object “Ukryttya”.

Поступила в редакцію 14.07.09