

ЖИДКИЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ НА НИЖНИХ ОТМЕТКАХ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

© 2011 г. А. А. Одинцов, В. Е. Хан, В. А. Краснов, В. Н. Щербин

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Представлены результаты регулярного контроля неорганизованных водных скоплений на нижних отметках объекта «Укрытие». Определено что количество воды в помещениях бассейна-барботера зависит от интенсивности образования конденсационной влаги в летний период. Показана динамика содержания урана, продуктов деления (^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{154,155}\text{Eu}$) и трансурановых элементов (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm) в жидких радиоактивных отходах объекта «Укрытие».

Ключевые слова: уран, цезий, стронций, плутоний, америций, жидкие радиоактивные отходы, объект «Укрытие».

Введение

Анализ факторов, определяющих ядерную и радиационную безопасность объекта «Укрытие» показывает, что образование жидких радиоактивных отходов (ЖРО), содержащих уран, продукты деления (ПД) и трансурановые элементы (ТУЭ) следует рассматривать как потенциальный фактор ядерной, радиационной и радиэкологической опасности.

Наличие воды внутри объекта «Укрытие» обуславливает возможность протекания химических процессов, которые могут приводить к межфазовому перераспределению урана, ПД и ТУЭ, их мобилизации, переносу и накоплению в помещениях, расположенных на нижних отметках объекта «Укрытие». Взаимодействие водных растворов с лавообразными топливосодержащими материалами (ЛТСМ) объекта «Укрытие» приводит к деградации ЛТСМ и ускорению процессов растворения и выщелачивания урана и радионуклидов. Не исключена потенциальная возможность выхода ЖРО за пределы объекта «Укрытие» и загрязнения грунтовых вод техногенными радионуклидами.

Проблемам, связанным с неорганизованными скоплениями ЖРО на нижних отметках объекта «Укрытие», посвящен ряд работ [1 - 7]. 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. Стабилизационные мероприятия на объекте «Укрытие» и сооружение нового безопасного конфайнмента существенно изменяют режим воздухообмена, количество поступающих атмосферных осадков и перепад температур внутри объекта «Укрытие», что может привести к изменению объемов воды и, следовательно, ЖРО внутри объекта «Укрытие».

Цель настоящей работы – изучение динамики изменения объемов ЖРО на нижних отметках объекта «Укрытие» и определение их радиационных и ядерных характеристик.

Места локализации и объемы ЖРО в объекте «Укрытие»

В рамках выполнения работ по контролю неорганизованных выбросов и сбросов из объекта «Укрытие» ежемесячно производится отбор проб ЖРО, визуальный осмотр, замер глубины воды и оценка площади неорганизованных водных скоплений в помещениях на нижних отметках объекта «Укрытие».

Источниками формирования водных скоплений на нижних отметках объекта «Укрытие» являются протечки атмосферных осадков и пылеподавляющих растворов, поступающих в подкровельное пространство объекта «Укрытие», а также конденсационная влага, образующаяся на стенах и потолке помещений на нижних отметках. На рис. 1 показан план-схема расположения основных скоплений ЖРО на отметках + 0,0 и + 3,0 м объекта «Укрытие».

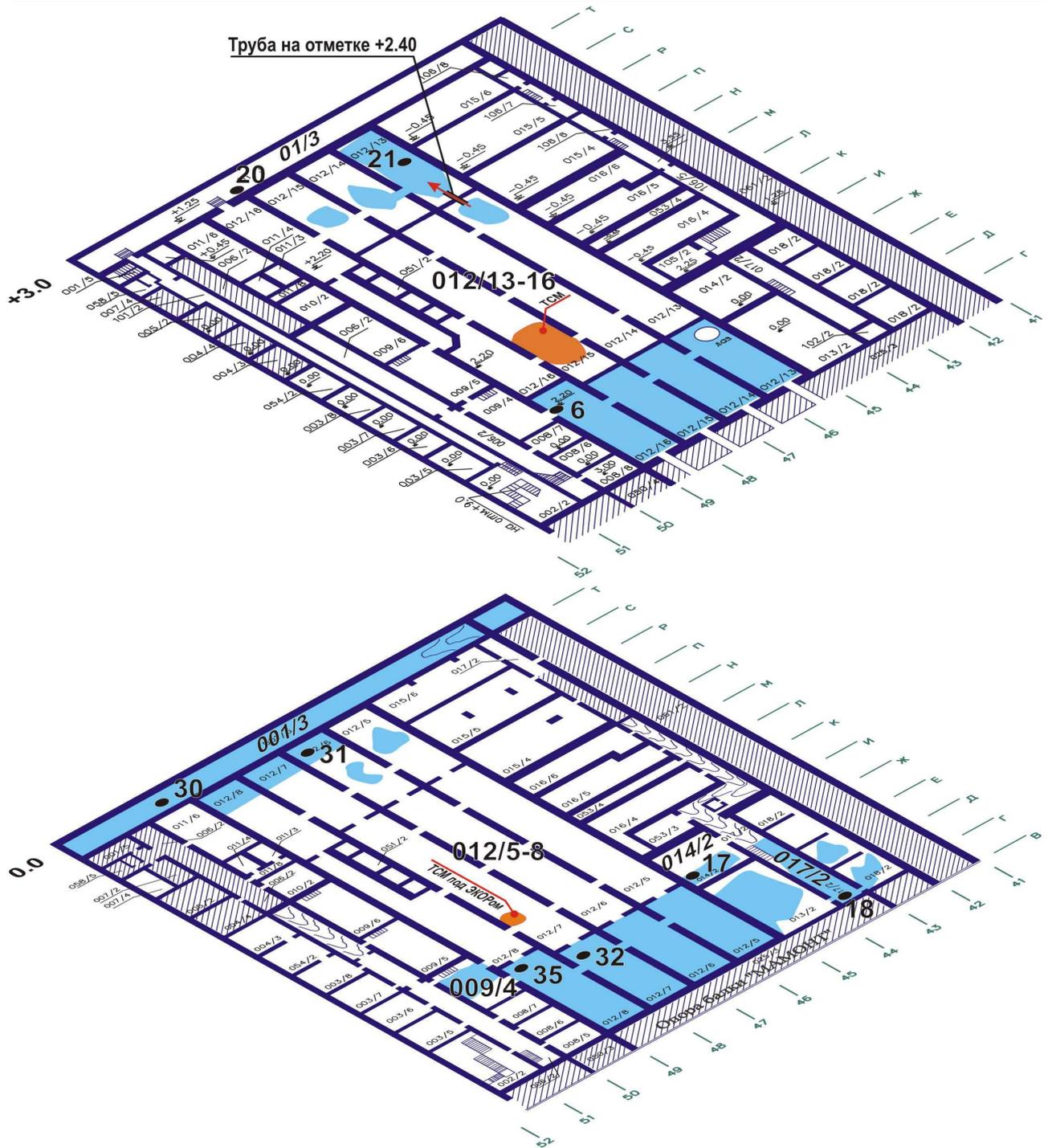


Рис. 1. План расположения помещений объекта «Укрытие» на отметках +0,0 и +3,0 м

Большая часть водных протечек объекта «Укрытие» собирается в помещении 001/3 (отметка -2,60 м) вспомогательных систем реакторного отделения (ВСРО) 4-го блока. Далее водный поток просачивается через разделительную стену по оси 41 в помещение 001/3 ВСРО 3-го энергоблока. Количество воды в помещении 001/3 в течение года остается практически постоянным и составляет $\sim 270 \text{ м}^3$.

Водные скопления на отметке -2,60 м. 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 У1 и осями 42 и 51'. Длина помещения 57 м, ширина до отметки -1,48 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.

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

Водные скопления на отметке -0,65 м. Вода в помещение 009/4 поступает из расположенного выше помещения 207/4-5 на отметке +6,00 м, а также за счет конденсата. Наибольшая влажность в этом помещении наблюдается в весенне-летний период. Розовый цвет воды в помещении 009/4 указывает на прямые протечки пылеподавляющих растворов. Объем воды в помещении колебался от полного высыхания до небольшой лужи. В 2009 г., а затем в 2010 г. количество воды в помещении 009/4 существенно возросло, слой воды составлял 10 – 15 см, по площади вода занимала порядка 15 м².

Вода в северную часть помещений 012/5-8 (ряды П – Т) поступает в результате конденсации и за счет протечек из расположенных выше помещений второго этажа бассейна-барботера (ББ) и парораспределительного коридора (ПРК). Объем и уровень воды в этих помещениях в последние годы подвержены значительным колебаниям. Направление утечки отсюда в помещение 001/3 через проходки в стене по ряду Т.

Вода в южную часть помещений 012/5-8 (ряды Г - Ж) поступает из тех же источников, что и в северную (помещение 12/13-16 ББ и 208/11 ПРК). Кроме того, сюда по коллекторной трубе поступают организованные протечки из скважин в помещениях 207/4-5. Водные скопления в этих помещениях являются малопроточными. Объемы скоплений регулируются процессами испарения и конденсации.

В восточной части блока Б постоянные водные скопления наблюдаются в южной части коридора 017/2, в помещениях 013/2, 014/2 и 018/2. Водные скопления в этих помещениях формируются за счет поступления воды с верхних отметок. Уровень воды в южной части помещения 017/2 определяется высотой порога дверного проема в помещение 018/2 и составляет 25 – 30 см. При повышении уровня избыток воды перетекает в помещение 018/2, а также в помещение 025/2 → помещение 0025 → помещение 071. Вода из помещения 018/2 через систему трапных вод поступает в коллекторный трубопровод, находящийся в помещении 001/3 (согласно проектной документации), а из него - в помещение 001/3. Цвет воды в помещениях 013/2, 014/2, 017/2 и 018/2 определяется прямыми протечками пылеподавляющих растворов.

В помещении 018/2 согласно проектной документации находится сливное отверстие системы сбора трапных вод. Поскольку в самом помещении на протяжении многих лет объем воды остается относительно небольшим и не имеет тенденции к накоплению, то возникает вопрос о направлении утечки из этого помещения. Для ответа на него в 2008 г. был проведен эксперимент по вводу и отслеживанию трассера (индикатора) водного потока. В качестве трассера был использован бромид натрия (NaBr).

В водное скопление в помещении 017/2 9 апреля 2008 г. был введен бромид натрия в количестве 10 кг (7,77 кг по Br). Объем скопления постоянный и составляет около 5 м³. На рис. 2 представлена динамика изменения концентрации трассера и объемная активность ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в помещении 017/2, определенная в работе [8]. Дальнейшие наблюдения показали, что концентрация бромид-иона стала нарастать в водном скоплении помещения 001/3, где предварительно была определена его фоновая концентрация (0,3 мг/л). Концентрация бромид-иона в ЖРО помещения 001/3 достигла максимального значения в начале сентября (3,4 мг/л), а затем уменьшилась в два раза.

В помещении 017/2 концентрация трассера до начала сентября снижалась. В сентябре, в результате выпадения значительного количества осадков, в помещение стали поступать быстрые слабоминерализованные протечки. Это привело к понижению солевого фона водного скопления и, как следствие, переходу в растворенное состояние части нерастворившегося, и находившегося в виде осадка, бромида натрия. В результате в октябре – ноябре концентрация трассера в ЖРО помещения 017/2 несколько возросла.

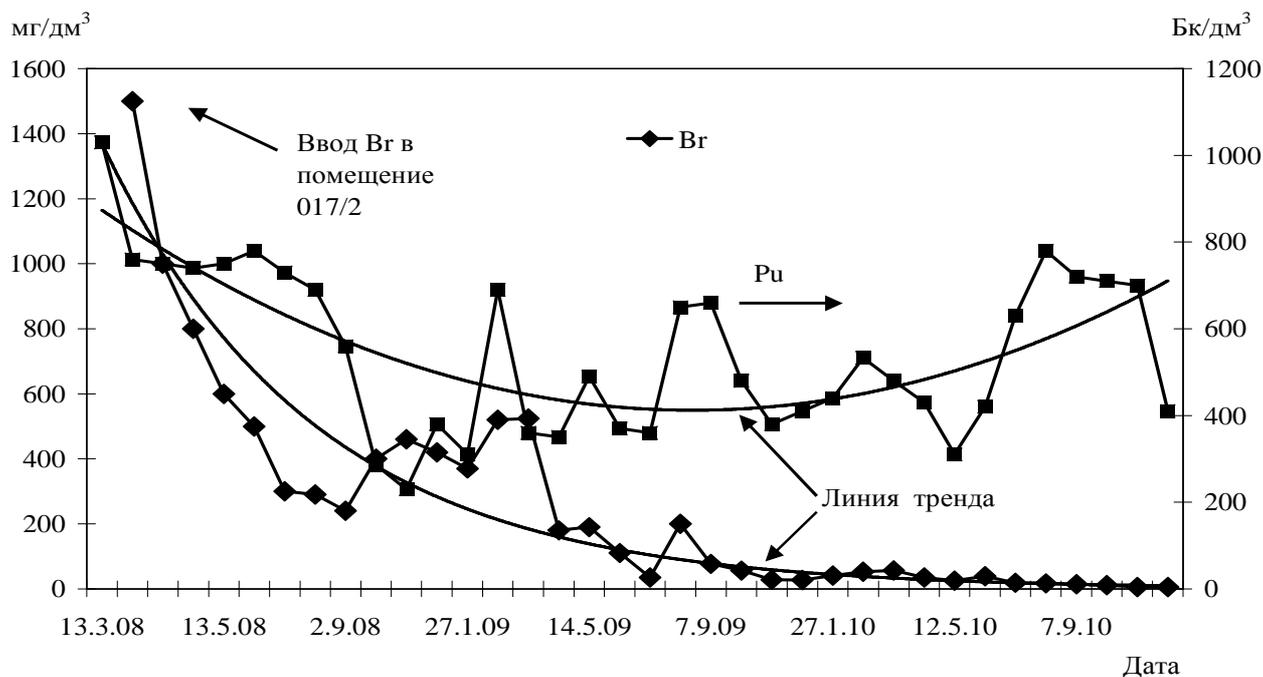


Рис. 2. Динамика концентрации Br-(бромид-иона) и объемной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в воде помещения 017/2.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что вода из помещения 017/2 перетекает в помещение 018/2 и через систему трапных вод поступает в коллекторный трубопровод, находящийся в помещении 001/3 (согласно проектной документации), а из него - в помещение 001/3. На рис. 2 показана динамика изменения объемной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в ЖРО помещения 017/2. Наблюдаются сезонные изменения активности $^{239+240}\text{Pu}$, в целом, содержание $^{239+240}\text{Pu}$ находится на уровне 300 – 800 Бк/дм³. Это свидетельствует о том, что вода, поступающая в помещение 017/2, контактировала с топливосодержащими материалами в результате чего произошло растворение урана и радионуклидов. Вода является транспортом для переноса урана и радионуклидов с верхних отметок объекта «Укрытие».

Водные скопления на отметке +2,20 м. В северную часть помещений 012/13-16 (ряды П – Т) вода поступает в результате конденсации и за счет протечек из расположенных выше помещений ПРК. В период интенсивных осадков они увеличиваются, в сухой период практически высыхают. Кроме того, сюда поступают протечки из центральной части ББ. Направление утечки в расположенные ниже помещения 012/5-6 первого этажа ББ.

Увеличение объемов ЖРО в июле – сентябре за счет интенсивной конденсации влаги в помещениях ББ привело к поступлению среднеактивных ЖРО в северную часть помещения 012/13 из центральной части этого же помещения через трубу на отметке +2,4 м, ряд П, ось 45₊₃₀₀₀ (см. рис. 1). В результате значительно увеличилась концентрация урана, и объемная активность радионуклидов в воде северной части помещения 012/13. В южной части помещения 012/13-16 (ряды Г - Ж) наблюдается постоянное скопление воды. Уровень воды в этом помещении до 12 см, цвет воды определяется наличием протечек пылеподавляющего раствора. В воде большое количество взвесей, донные отложения черного-серого цвета. Вода попадает из помещения 208/9 ПРК, где в период освоения аварийного блока был пробит специальный люк, а также за счет конденсата.

В табл. 1 представлены координаты и объемы основных скоплений ЖРО по состоянию на декабрь 2010 г. Наибольшие скопления ЖРО находятся в южной части помещений 012/5-8 – 13 м³, 012/13-16 – 31 м³ и 001/3 – 270 м³. Не исключено наличие значимых объемов ЖРО в помещениях, куда доступ из-за разрушений и высоких радиационных полей ограничен.

Таблица 1. Координаты и объемы основных скоплений ЖРО

Помещение	Отметка	Ось	Ряд	Площадь, м ²	Глубина, см	Объем, м ³
012/5-8	-0,65	45-49	Г - Ж	346	3 - 7	12,5
012/5-8	-0,65	45-49	П-Т	342	1,5 - 2	5,1
012/6-8*	-0,94	46-49	С-Т	21	20	4,2
009/4	-0,65	49 - 50	Ж - И	15	10	1,5
012/13-16	+2,20	45 - 49	Г - Ж	346	9	31
012/13-16	+2,20	45 - 49	П-Т	118	2 - 4	3,7
013/2	0,00	44 - 45	Г - Е	20	3,5	0,7
014/2	0,00	44 - 45	Ж - И	8	2	0,16
017/2	0,00	43 - 44	Г - Е	18	28	5,1
018/2	0,00	42 - 43	Г - И	25	0,5	0,13
061/2	+6,00	41 - 42	Е - Ж	30	10	3
001/3	-2,60	41 - 51	У - У ₁	250	107	270

* Пряжки в помещениях 012/6-8.

Суммарный объем ЖРО в контролируемых помещениях составлял (по состоянию на декабрь) в 2007 г. – 331, 2008 – 322, 2009 – 318 и 2010 – 337 м³, т. е. за последние четыре года объемы ЖРО практически не уменьшаются. При этом переток ЖРО из помещения 001/3 4-го блока в помещения 3-го блока составляет порядка 700 – 800 м³ ежегодно.

Объемы водных скоплений в контролируемых помещениях и динамика перетока в течение года характеризуются сезонной цикличностью. В апреле температура в подкровельном пространстве становится положительной и начинается интенсивное таяние накопившегося в зимний период снега и льда, что приводит к быстрому увеличению влажности на нижних отметках блока. Еще больше влажность возрастает в мае – сентябре, когда температура внутри объекта «Укрытие» ниже, чем снаружи, что приводит к образованию конденсата. В осенне-зимний период в основном происходит испарение влаги, что с уменьшением поступления осадков и вызывает снижение объемов водных скоплений. В качестве примера на рис. 3 показаны динамика объемов водных скоплений в помещениях 012/13-16 (ряды Г – Ж) и осадков. В период весна – осень в помещениях происходит возрастание объемов воды от 20 до 45 м³. С ноября по март объемы уменьшаются. Аналогичные изменения объемов воды наблюдается и в других контролируемых помещениях.

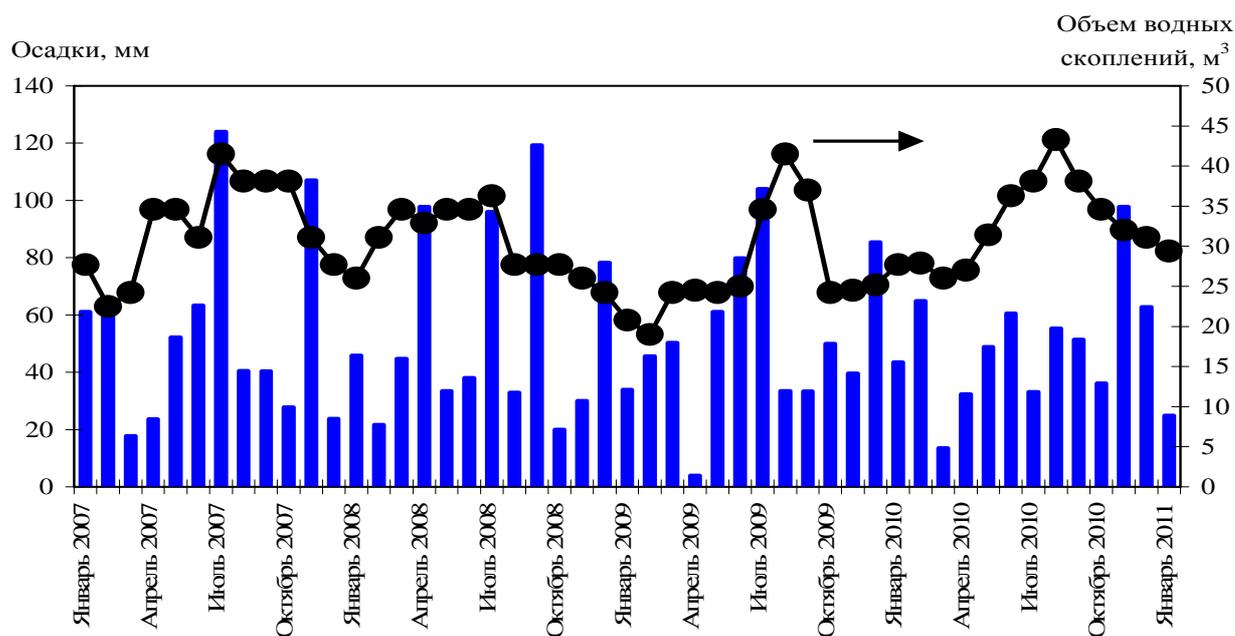


Рис. 3. Динамика объемов водных скоплений в помещениях 012/13 - 16 (ряды Г – Ж) и осадков.

В 2010 г. отмечено повышение максимальных значений объемов контролируемых водных скоплений по сравнению с предыдущими годами. Причиной этому послужила длительная аномально высокая температура в летний период 2010 г. (рис. 4), что привело к увеличению конденсации влаги на поверхностях помещений на нижних отметках объекта «Укрытие», где в течение года температура изменяется незначительно. Так, в период с мая по август 2010 г. среднемесячная температура была на 2 – 6 град выше по сравнению с аналогичными месяцами предыдущих лет. По экспертным оценкам такое повышение температуры обеспечило увеличение суммарного объема конденсированной влаги в объекте «Укрытие» в указанный период на $\sim 70 \text{ м}^3$. Полученная оценка сопоставима с количеством водных растворов – 95 м^3 , распыленных в объекте «Укрытие» во время сеанса пылеподавления в 2010 г. Однако в отличие от пылеподавляющих растворов, большая часть которых задерживается на верхних отметках 4-го блока, конденсация влаги протекает на нижних отметках. В результате, например, в помещениях 012/13 – 16 (ряды Г – Ж) среднегодовой объем водных скоплений увеличился по сравнению с 2008 – 2009 гг. и достиг уровня 2007 г. (рис. 5).

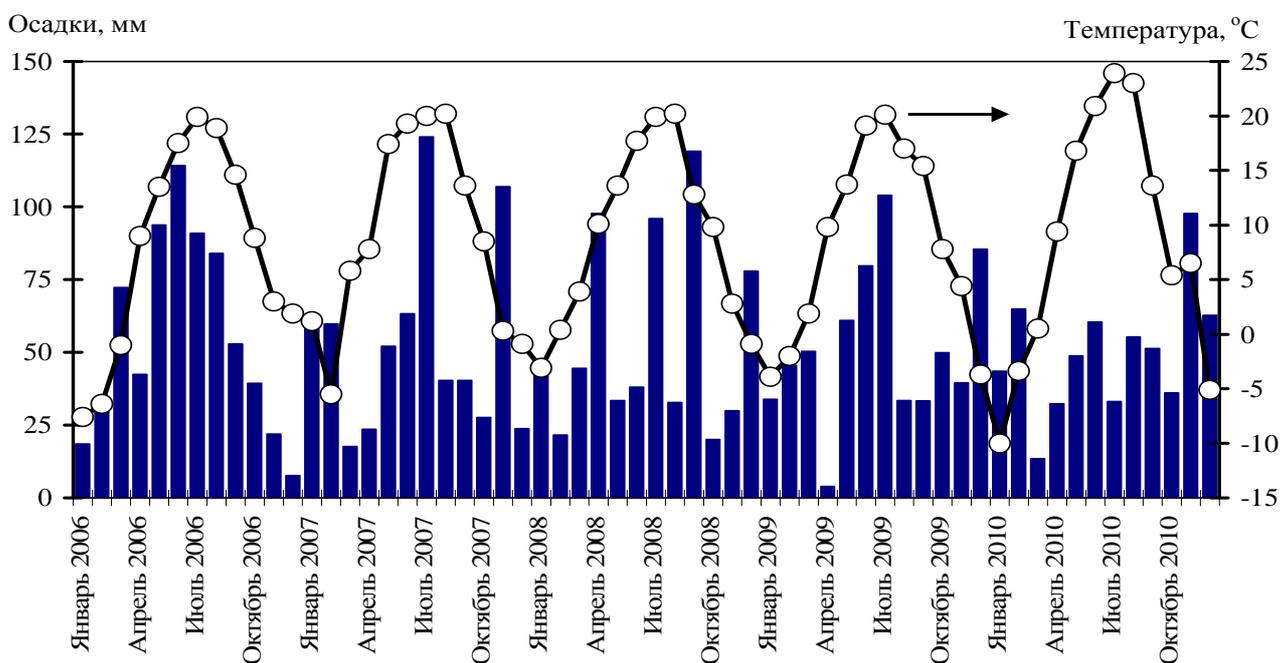


Рис. 4 Среднемесячная температура и осадки.

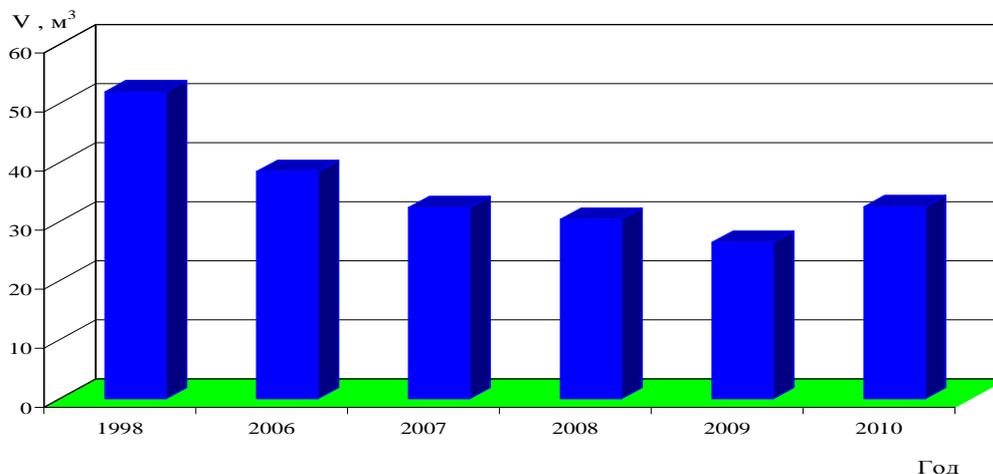


Рис. 5. Среднегодовой запас ЖРО в помещениях 012/13 - 16 (ряды Г – Ж).

Результаты контроля концентраций урана и содержания радионуклидов в водных скоплениях

Для определения концентраций урана (мг/дм^3), удельной активности радионуклидов ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am и ^{244}Cm (Бк/дм^3) и стабильных макрокомпонентов HPO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} (мг/дм^3) в скоплениях ЖРО объекта «Укрытие» ежемесячно отбирались пробы воды. Контроль воды, поступающей из центральной части блока Б, осуществляли путем отбора проб ЖРО из скважин, пробуренных в плите перекрытия пола помещения 305/2. Номера помещений и строительные координаты точек отбора проб воды приведены в [7].

Содержание урана, ПД, плутония, америция и кюрия определяли из одной пробы воды по ионообменной методике, описанной в работе [9]. Активность ^{90}Sr определяли β -радиометрическими измерениями, ^{137}Cs , $^{154,155}\text{Eu}$, ^{241}Am – γ -спектрометрическими измерениями, ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am и ^{244}Cm – α -спектрометрическими измерениями. Погрешность определения концентрации урана и объемной активности радионуклидов не превышала 10 – 15 %. Объемную активность ^{241}Am определяли γ -спектрометрическими и α -спектрометрическими измерениями. Оба метода показали хорошую сходимость результатов.

В табл. 2 представлены результаты среднегодовых концентраций урана и удельных активностей радионуклидов в водных скоплениях на нижних отметках объекта «Укрытие» в 2010 г.

Согласно классификации ЖРО по критерию удельной активности [10] низкоактивные, среднеактивные и высокоактивные ЖРО определяются по интервалу значений удельной активности ЖРО в единицах кратности $\text{РС}_V^{\text{ingest}}$. Для среднеактивных ЖРО интервал кратности составляет $\geq 10^2 < 10^6$, а высокоактивных $\geq 10^6$. Значения $\text{РС}_V^{\text{ingest}}$ для радионуклидов приведены в НРБУ-97 [11]: $^{90}\text{Sr} - 1 \cdot 10^4 \text{ Бк/м}^3$, $^{137}\text{Cs} - 1 \cdot 10^5 \text{ Бк/м}^3$, ^{238}Pu , ^{239}Pu , $^{240}\text{Pu} - 1 \cdot 10^3 \text{ Бк/м}^3$ и $^{241}\text{Am} - 1 \cdot 10^3 \text{ Бк/м}^3$. В целом все ЖРО в обследованных водных скоплениях попадают в категорию среднеактивных ЖРО, 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 (южная часть ББ) по ^{90}Sr могут быть отнесены к категории высокоактивных отходов, так как коэффициент кратности составляет $1,2 \cdot 10^6$.

Максимальные концентрации радионуклидов и урана в пробах ЖРО из помещений 1-го и 2-го этажей ББ (точки 6, 21, 31 и 32) в 2010 г. составили: по $^{137}\text{Cs} - 5,1 \cdot 10^{10} \text{ Бк/м}^3$ в марте, точка 32; по $^{90}\text{Sr} - 1,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/м}^3$ в марте, точка 32; по урану – 44 г/м^3 в апреле, точки 31 и 32. Наиболее высокие концентрации урана $80 - 170 \text{ г/м}^3$ наблюдались в протечках из скважин 3-9-К и Ю-9-Б, пробуренных в направлении помещения 305/2. После ремонтных работ и обсадки в 2008 г. сток воды из скважины 3-9-К прекратился.

Динамика изменения объемной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs в период 2000 – 2010 гг. в ЖРО помещения 001/3 (точка отбора 30) и трубе из ПРК (точка отбора 20) показана на рис. 6.

Таблица 2. Содержание урана (г/м^3) и радионуклидов (Бк/м^3) в ЖРО объекта «Укрытие» в 2010 г.

Точка отбора	Уран	^{90}Sr	^{137}Cs	^{238}Pu	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am	^{244}Cm
6	31	$5,4 \cdot 10^9$	$3,6 \cdot 10^{10}$	$2,3 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^6$
10	0,35	$7,2 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^5$	$5,6 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^4$
13	3,7	$1,4 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$2,1 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^5$
17	2,6	$3,5 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^9$	$3,8 \cdot 10^5$	$8,6 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^6$	$9,9 \cdot 10^4$
18	0,95	$1,1 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^9$	$2,3 \cdot 10^5$	$5,6 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^6$	$6,8 \cdot 10^4$
20	42	$1,1 \cdot 10^{10}$	$3,9 \cdot 10^{10}$	$4,1 \cdot 10^6$	$8,8 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^8$	$3,2 \cdot 10^6$
21	1,6	$5,4 \cdot 10^7$	$6,3 \cdot 10^9$	$2,9 \cdot 10^5$	$6,1 \cdot 10^5$	$5,9 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^5$
30	8,1	$1,7 \cdot 10^9$	$8,1 \cdot 10^9$	$8,8 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^7$	$8,6 \cdot 10^5$
31	39	$5,5 \cdot 10^9$	$4,2 \cdot 10^{10}$	$1,8 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^6$	$6,0 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^6$

32	34	$1,2 \cdot 10^{10}$	$3,9 \cdot 10^{10}$	$5,7 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^8$	$6,7 \cdot 10^6$
35	12	$6,9 \cdot 10^9$	$2,1 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^6$	$2,9 \cdot 10^6$	$4,4 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^6$
36	1,4	$6,4 \cdot 10^8$	$3,7 \cdot 10^9$	$3,4 \cdot 10^4$	$8,7 \cdot 10^4$	$6,1 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^4$
Скв. 3-9-К	82	$6,3 \cdot 10^{10}$	$4,8 \cdot 10^{10}$	$7,8 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^7$	$3,7 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^7$
Скв. Ю-9-Б	170	$2,4 \cdot 10^{10}$	$4,1 \cdot 10^{10}$	$2,2 \cdot 10^6$	$4,7 \cdot 10^6$	$7,3 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^6$

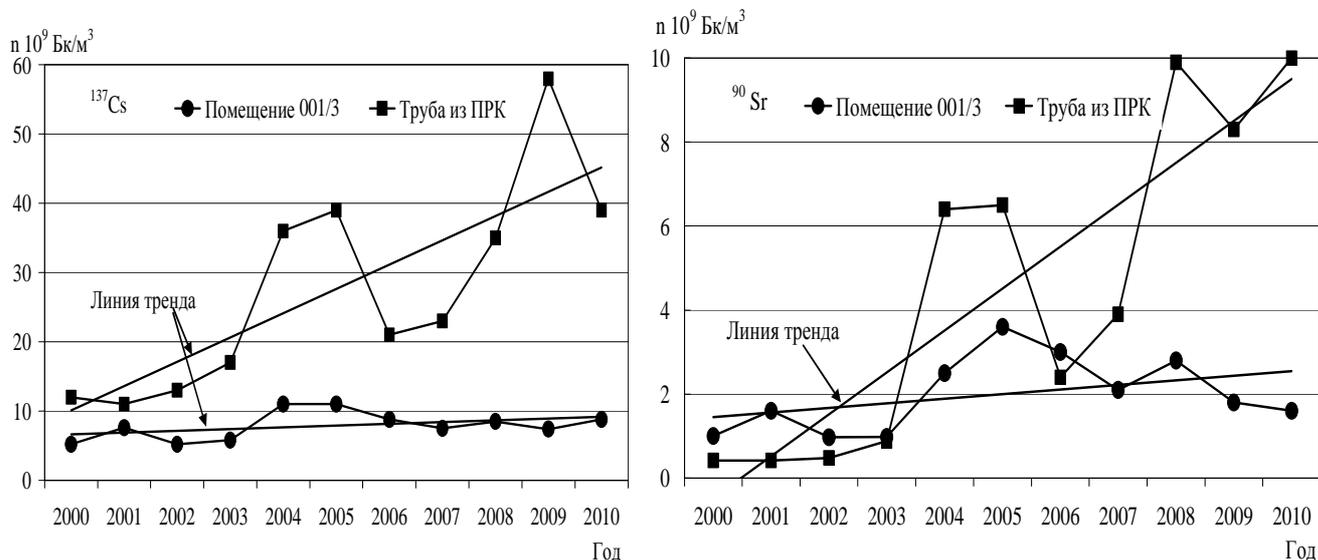


Рис. 6. Динамика удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в скоплениях ЖРО в помещении 001/3 и протечках из ПРК

Динамика изменения концентрации урана объемной активности $^{238+239+240}\text{Pu}$ в период 2000 – 2010 г.г. в ЖРО помещения 001/3 (точка отбора 30) и трубе из ПРК (точка отбора 20) показана на рис. 7. Как это следует из рис. 6 и 7 наблюдается устойчивая тенденция увеличения объемной активности ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{238+239+240}\text{Pu}$ и концентрации урана в ЖРО помещения 001/3.

Изменение концентрации урана и объемных активностей ПД и ТУЭ в помещении 001/3 обусловлено поступлением высокоактивных протечек со стороны ББ и низкоактивных протечек со стороны каскадной стены из скважины 2.1.116.

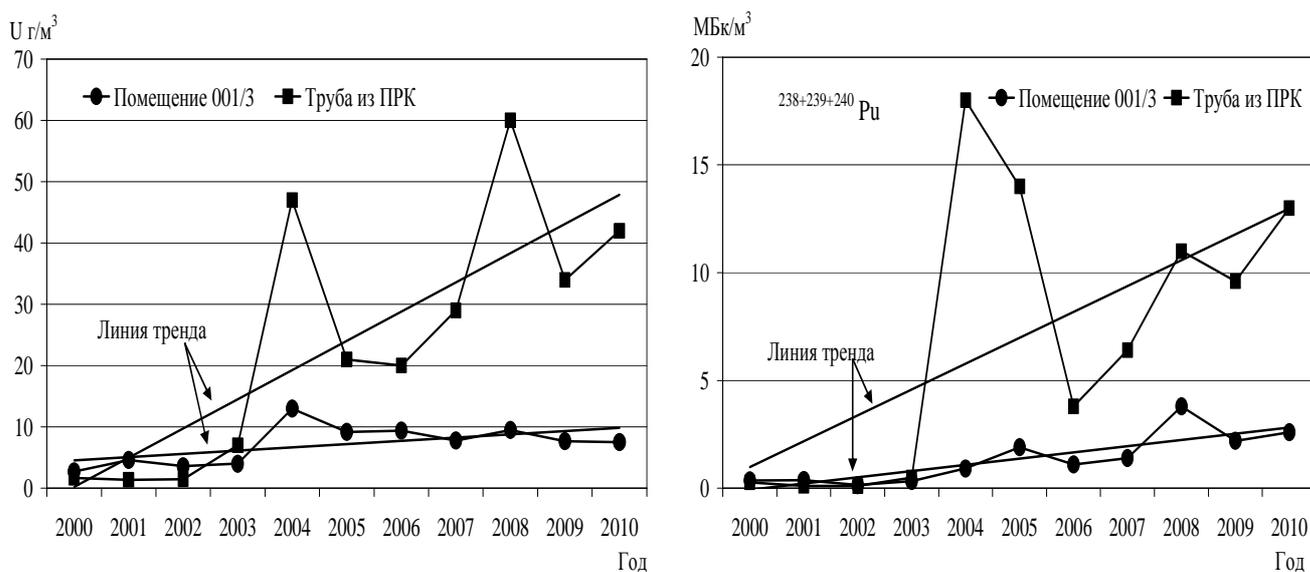


Рис. 7. Динамика концентрации урана и удельной активности $^{238+239+240}\text{Pu}$ в скоплении ЖРО в помещении 001/3 и протечках из ПРК.

Переток ЖРО из ББ 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. Максимальные концентрации радионуклидов и урана в водном скоплении помещения 001/3 наблюдались в 2008 г. и составили: ^{137}Cs – $1,1 \cdot 10^{10}$ Бк/м³ в октябре; ^{90}Sr – $3,5 \cdot 10^9$ Бк/м³ в июне; по урану 15 г/м³ в августе. Объемные активности плутония, америция и кюрия также были наибольшими за все годы наблюдений (рис. 8).

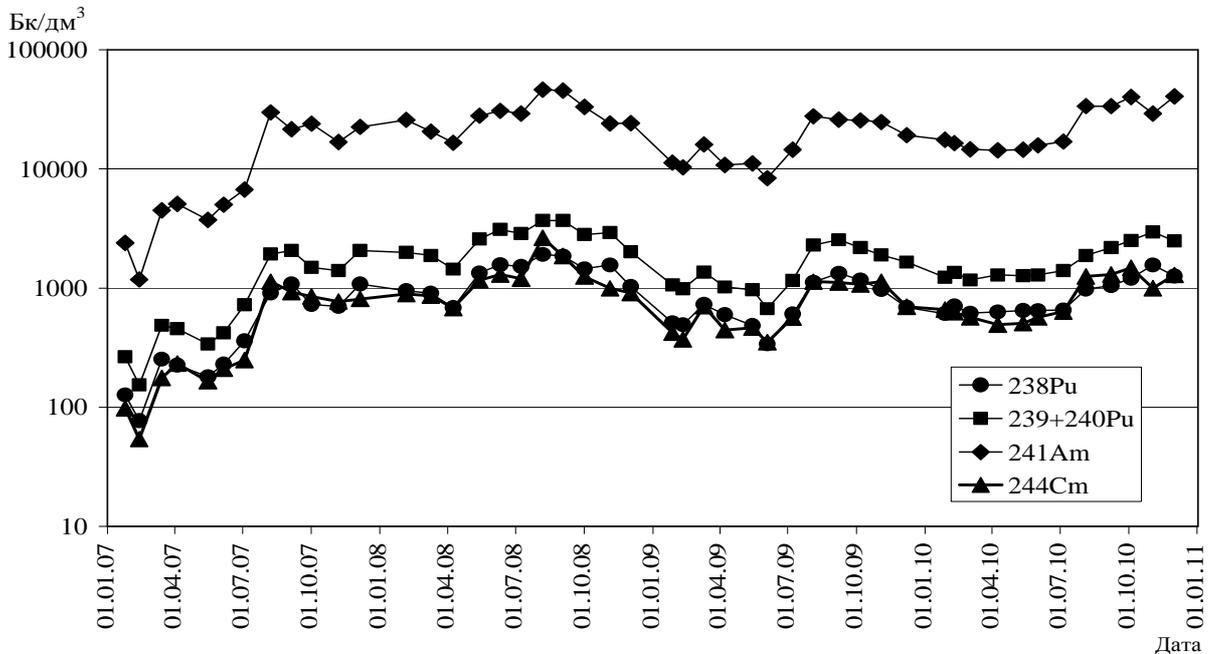


Рис. 8. Объемные активности ТУЭ в ЖРО помещения 001/3.

Следует отметить, что объемная активность ^{244}Cm и ^{238}Pu в ЖРО помещения 001/3 практически одинаковая (см. рис. 8). На сегодняшний день ^{244}Cm является основным источником нейтронов спонтанного деления. Наличие в ЖРО объекта «Укрытие» делящихся изотопов ^{235}U и ^{239}Pu в совокупности с ^{244}Cm и ^{238}Pu определяет ядерную опасность. В работе [12] отмечается, что в настоящее время водное скопление и донные отложения в помещении 001/3 ядерно безопасны. Однако проведение дальнейших работ с такими скоплениями требует особого внимания.

Поток ЖРО, проходящий через точку 20, относительно небольшой, но он вытекает из ПРК и характеризует центральный поток ЖРО через реакторное пространство и расположенные ниже по потоку помещения 305/2 и ПРК. Максимальные объемные активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в протечках ЖРО из ПРК (точка 20) в 2008 г. составили $5,5 \cdot 10^{10}$ и $1,5 \cdot 10^{10}$ Бк/м³ соответственно и наблюдались в ноябре. Максимальная концентрация урана 90 г/м³ была в ноябре. Максимальная объемная активность $^{238}\text{Pu} + ^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ в 2008 г. наблюдалась в июне - $1,6 \cdot 10^7$ Бк/м³. Указанные концентрации не превысили ранее зафиксированные их максимальные значения [13]. На рис. 6 и 7 представлены среднегодовые концентрации радионуклидов и урана в ЖРО из ПРК за период наблюдения 2000 – 2010 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.

Среднегодовое и интегральное поступление урана и радионуклидов с ЖРО в помещение 001/3 из трубы, выведенной из ПРК, приведено в табл. 3. Почти половина количества урана поступила в 2010 г., т. е. процесс деградации ТСМ продолжается с нарастающей интенсивностью.

Таблица 3. Поступление урана и радионуклидов из ПРК в помещение 001/3

Год	Объем ЖРО, м ³	Уран, г	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²⁴⁴ Cm
2006	2,2	35	$4,2 \cdot 10^9$	$4,3 \cdot 10^{10}$	$2,3 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^7$	$5,8 \cdot 10^5$
2007	1,5	49	$6,5 \cdot 10^9$	$3,2 \cdot 10^{10}$	$7,3 \cdot 10^6$	$8,7 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^6$
2008	1,6	89	$1,6 \cdot 10^{10}$	$5,8 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^8$	$4,5 \cdot 10^6$
2009	1,9	66	$1,9 \cdot 10^{10}$	$7,7 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^8$	$7,8 \cdot 10^6$
2010	3,7	201	$2,9 \cdot 10^{10}$	$8,7 \cdot 10^{10}$	$2,5 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^6$
Σ	11	440	$7,5 \cdot 10^{10}$	$3,0 \cdot 10^{11}$	$6,8 \cdot 10^7$	$6,2 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^7$

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 и объемами технологических растворов при проведении сеансов пылеподавления. Максимальное содержание плутония и урана наблюдались после проведения сеансов пылеподавления в апреле - мае 2008 г. (рис. 9).

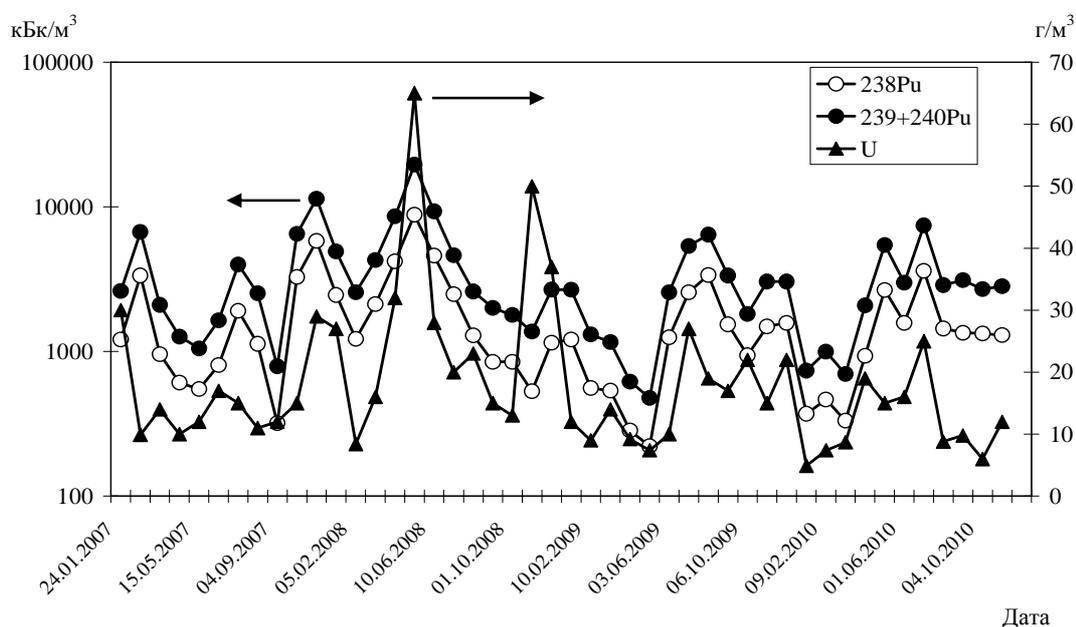


Рис. 9. Динамика концентрации урана и объемной активности плутония в ЖРО, поступающих в помещение 012/8 с отметки +9,0 м (точка отбора 35).

Контроль объемов и содержания урана и радионуклидов в протечках, поступающих в помещение 012/8 из коллекторной трубы с отметки +9,0 м, позволил оценить вынос урана и радионуклидов из помещений, где локализованы ЛТСМ. В табл. 4 представлены данные по интенсивности поступления воды и интегральному содержанию урана и радионуклидов.

Таблица 4. Поступление урана и радионуклидов в помещение 012/8 из коллектора на отметке +9,0 м

Дата отбора	Объем ЖРО, м ³	Уран, г	⁹⁰ Sr Бк	¹³⁷ Cs Бк	²³⁸ Pu Бк	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu Бк	²⁴¹ Am Бк	²⁴⁴ Cm Бк
12.05.2010	0,43	6,5	$2,7 \cdot 10^9$	$5,6 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^7$	$8,2 \cdot 10^5$
01.06.2010	0,05	0,81	$5,1 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^6$	$4,9 \cdot 10^4$
05.07.2010	0,62	16	$6,2 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^{10}$	$2,2 \cdot 10^6$	$4,6 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^8$	$5,4 \cdot 10^6$
04.08.2010	3,1	27	$9,3 \cdot 10^9$	$4,1 \cdot 10^{10}$	$4,5 \cdot 10^6$	$8,9 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^8$	$4,3 \cdot 10^6$
07.09.2010	2,2	22	$1,5 \cdot 10^{10}$	$6,2 \cdot 10^{10}$	$3,1 \cdot 10^6$	$6,8 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^8$	$4,1 \cdot 10^6$
04.10.2010	0,2	1,2	$8,4 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^9$	$2,7 \cdot 10^5$	$5,4 \cdot 10^5$	$8,6 \cdot 10^6$	$3,1 \cdot 10^5$
02.11.2010	2,1	24	$8,2 \cdot 10^9$	$2,9 \cdot 10^{10}$	$2,6 \cdot 10^6$	$5,6 \cdot 10^6$	$7,2 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^6$
Σ	8,7	98	$4,2 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^7$	$5,1 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^7$

Максимальные количества урана и радионуклидов поступили в июле - сентябре 2010 г.

Одним из основных α -излучателей в ЖРО объекта «Укрытие» является ^{241}Am . Содержание ^{241}Am в ЖРО объекта "Укрытие" изменяется в широком интервале от $1 \cdot 10^5$ до $3 \cdot 10^8$ Бк/м³. Максимальная объемная активность ^{241}Am $3,5 \cdot 10^8$ Бк/м³ была в сентябре 2010 г. в помещении 01/3 (труба из ПРК, точка отбора 20).

На рис. 10 видно, что объемная активность ^{241}Am в водных скоплениях контролируемых помещений объекта «Укрытие» в 2010 г. превышала средние значения 2009 г. Изменения объемной активности ^{241}Am на протяжении года, также как и остальных радионуклидов, носит сезонный характер и зависит от интенсивности атмосферных осадков.

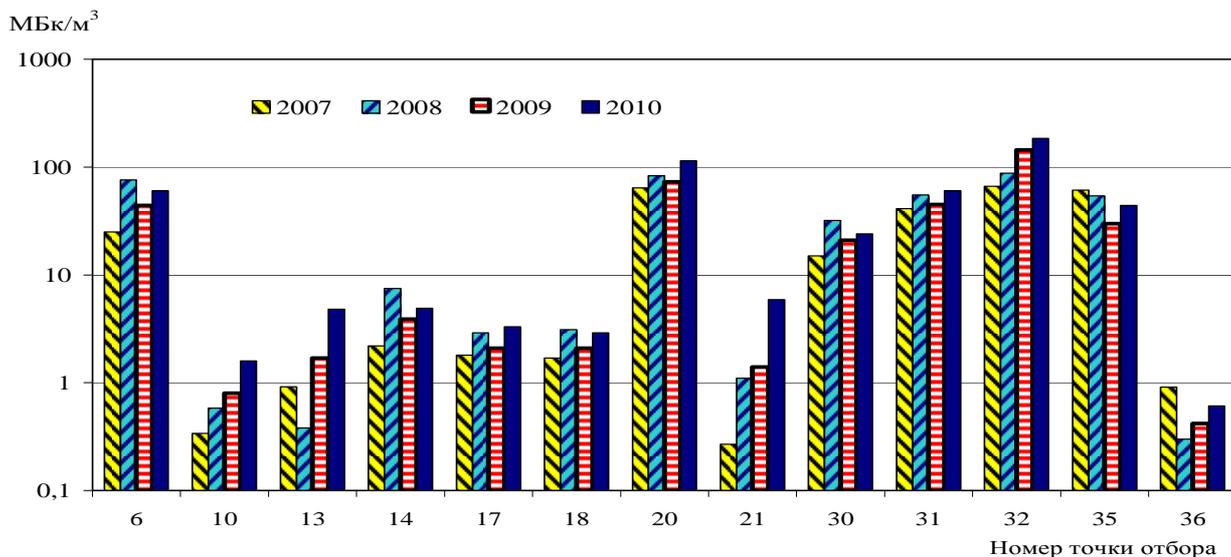


Рис. 10. Среднегодовая объемная активность ^{241}Am в ЖРО объекта «Укрытие».

Отношение активности ^{238}Pu к активности $^{239+240}\text{Pu}$ в воде, отобранной в различных помещениях объекта «Укрытие», представлено на рис. 11 (средние значения для 4 – 12 проб в зависимости от периодичности отбора проб). Отношение $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в ЖРО объекта «Укрытие» изменяется от 0,41 до 0,52 (расчетное значение для базового состава топлива 0,487 на 1 июля 2010 г.), что свидетельствует о различном выгорании топлива, растворенного в водных скоплениях.

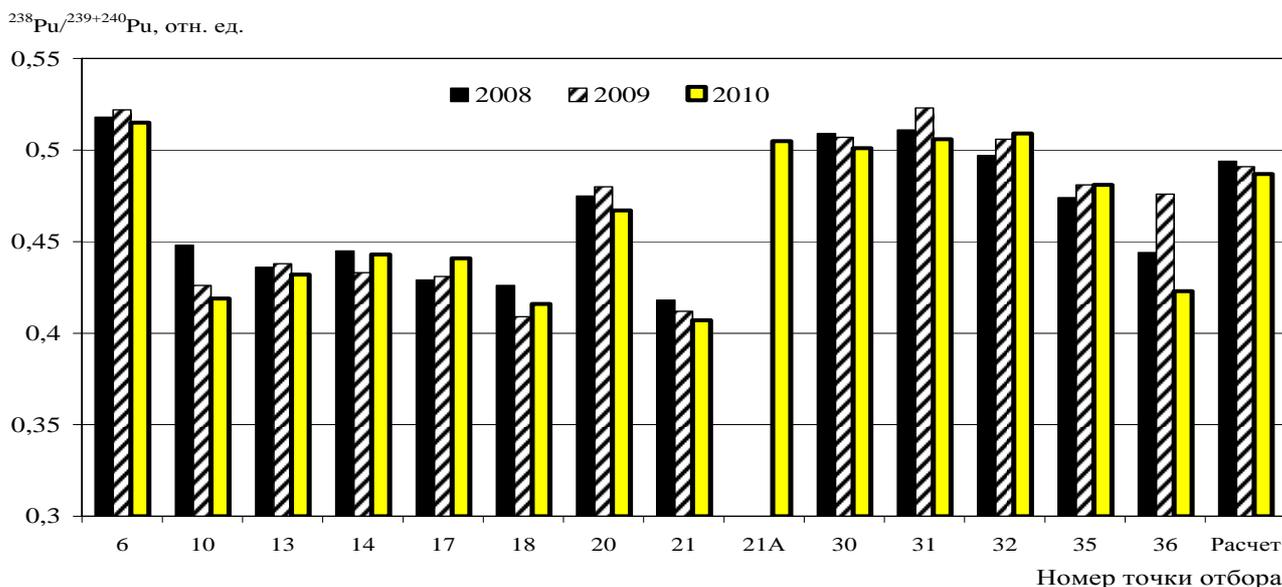


Рис. 11. Отношение активности $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в основных скоплениях ЖРО объекта «Укрытие».

Значимых изменений относительного содержания изотопов плутония в 2010 г., за исключением помещения 012/13 (точка отбора 21), не наблюдается. На рисунке 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 ББ (точки отбора 31 и 32), южной части 2-го этажа (точка отбора 6) и в помещении 001/3 (точка отбора 30) относительное содержание ^{238}Pu выше, чем в базовом составе топлива. Самое низкое значение отношений активности $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ (0,41) в течение последних лет наблюдалось в северной части 2-го этажа ББ (точка отбора 21). Однако в сентябре 2010 г. в результате поступления воды в северную часть помещения 012/13 из средней части (см. рис. 1) концентрация урана и объемные активности радионуклидов ЖРО этого помещения заметно увеличились. При этом относительные активности $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ изменилось с 0,41 в августе до 0,51 в последующие месяцы (рис. 12). Объемная активность $^{239+240}\text{Pu}$ увеличилась более чем в 10 раз.

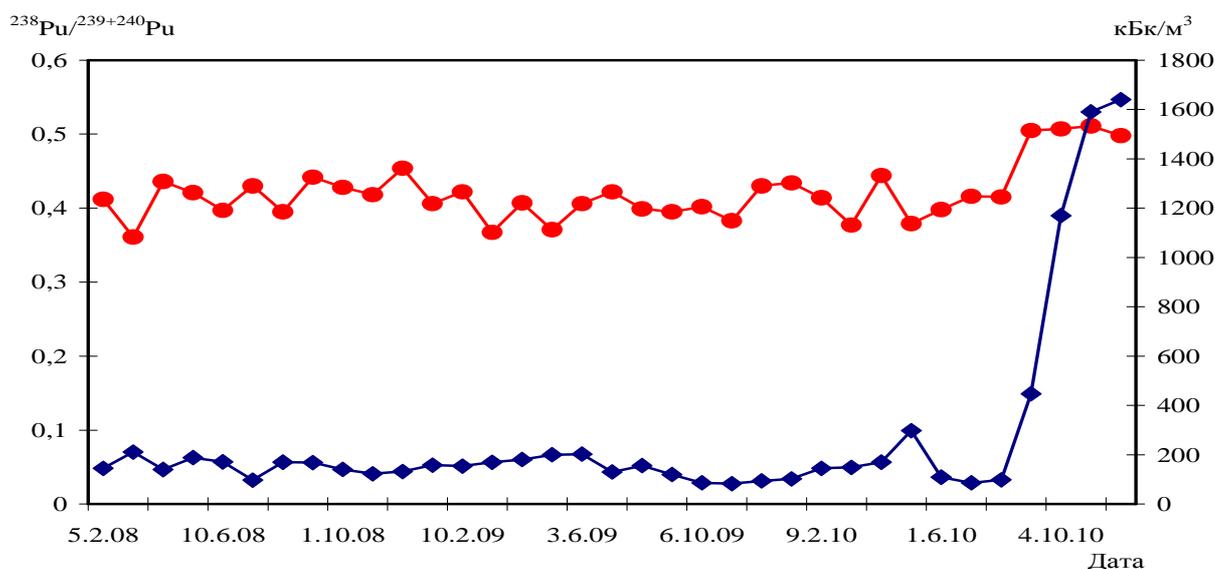


Рис. 12. Отношение активности $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ и объемная активность $^{239+240}\text{Pu}$ в ЖРО помещения 012/13 (точка отбора 21).

Как следует из рис. 13, 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 и потоков характерно свое значение отношения $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$, которое устойчиво сохранялось в течение всего 2010 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 2010 г. по сравнению с 2006 - 2009 гг. в водных скоплениях северной части помещения 012/13 (точка отбора 21) наблюдается тенденция к увеличению отношения активности ^{241}Am к активности $^{239+240}\text{Pu}$ от 2,1 до 11 (см. рис. 13). Это увеличение относительного содержания ^{241}Am значительно превышает рост активности ^{241}Am за счет распада ^{241}Pu (отношение $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ в базовом топливе возросло от 1,54 в 2006 г. до 1,69 в 2010 г.).

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».

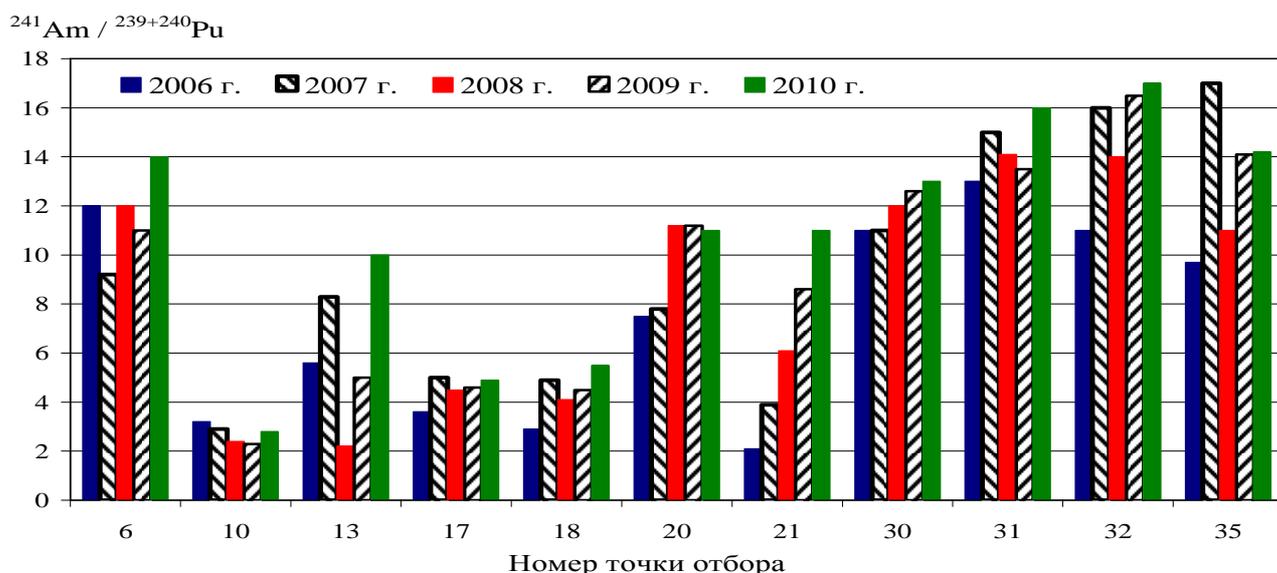


Рис. 13. Отношение активности ^{241}Am к активности $^{239+240}\text{Pu}$ в ЖРО объекта «Укрытие».

Содержание γ -излучающих радионуклидов $^{154,155}\text{Eu}$ в ЖРО объекта «Укрытие» представлено в табл. 5.

Таблица 5. Объемная активность $^{154,155}\text{Eu}$, Бк/м³

Нуклид	Точка отбора							
	6	17	18	20	21	30	31	32
^{154}Eu	$1,3 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^5$	$7,1 \cdot 10^5$	$4,6 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^5$	$9,1 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^7$	$6,6 \cdot 10^7$
^{155}Eu	$1,9 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$	$8,8 \cdot 10^6$	$6,7 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^7$

Объемная активность ^{154}Eu в ЖРО находится в пределах $2 \cdot 10^5 - 6,6 \cdot 10^7$ Бк/м³, что по порядку величины сравнимо с объемной активностью ^{241}Am . Отношение активностей $^{241}\text{Am}/^{154}\text{Eu}$ для различных скоплений ЖРО составляет $5,7 \pm 1,1$. Отношение активностей $^{154}\text{Eu}/^{155}\text{Eu}$ в ЖРО, отобранных из различных помещений, изменяется незначительно и составляет $5,3 \pm 1,2$ (на декабрь 2010 г.), расчетное значение для базового топлива 5,2.

Выводы

Представленные результаты показывают, что проблемы преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему необходимо решать комплексно с учетом взаимосвязанности протекающих внутри объекта процессов, а также принимать во внимание изменения воздействия природных и техногенных факторов.

Объемы воды в основных неорганизованных скоплениях на протяжении ряда лет с учетом сезонных изменений остаются практически неизменными.

Наблюдается устойчивая тенденция увеличения содержания урана, ПД и ТУЭ в наибольшем водном скоплении помещения 001/3.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Креницын А. П. Симановская И. Я., Стрихарь О. Л. Исследование взаимодействия воды с конструкционными и топливосодержащими материалами в помещениях объекта «Укрытие» // Радиохимия. – 1998. – Т. 40, № 3 – С. 270 - 288.

2. Щербин В. Н., Криницин А. П., Стрихарь О. Л. Определение ^{235}U в водотоках объекта «Укрытие» // Радиохимия. – 2000. – Т. 42, № 3. – С. 281 – 283.
3. Богатов С. А., Корнеев А. А., Криницин А. П. и др. Исследования водотоков внутри объекта «Укрытие» // Радиохимия. – 2000. – Т. 42, № 3. – С. 276 – 280.
4. Криницин 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. - Вып. 9. – С. 98 – 104.
5. Корнеев А. А., Криницин А. П., Стрихарь О. Л., Щербин В. Н. Жидкие радиоактивные отходы внутри объекта «Укрытие» // Радиохимия. – 2002. – Т. 44, № 6. – С. 545 – 552.
6. Криницин 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.
7. Одинцов А.А., Хан В.Е., Краснов В.А. и др. Трансурановые элементы в жидких радиоактивных отходах объекта «Укрытие» // Там же. – 2009. – Т. 51, № 4. – С. 337 - 343.
8. Контроль неорганизованных выбросов из объекта «Укрытие»: (Отчет о НИР, договор 267/08) / ИПБ АЭС НАН Украины. - Чернобыль, 2008. – 92 с.
9. Одинцов А. А., Пазухин Э.М., Хан В. Е. Методика одновременного определения содержания урана и трансурановых элементов в грунтовой воде и жидких радиоактивных отходах объекта «Укрытие» // Там же. – 2005. – Т. 47, № 5. – С. 467 – 471.
10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности Украины. – К., 2005. – 62 с.
11. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ – 97) - Киев. – 1997. – 121 с.
12. Боровой А. А. Ядерная безопасность скоплений воды в объекте «Укрытие» // Атомная энергия. – 2009. – Т. 107, Вып. 2. – С. 91 – 95.
13. Одинцов А. А., Хан В. Е., Краснов В. А., Щербин В. Н. Контроль содержания радонуклидов в водных скоплениях объекта «Укрытие» в 2007 – 2008 г.г. // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2009. – Вып. 12. – С. 143 – 153.

РІДКІ РАДІОАКТИВНІ ВІДХОДИ НА НИЖНІХ ВІДМІТКАХ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»

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

Представлено результати регулярного контролю неорганізованих водних скупчень на нижніх відмітках об'єкта «Укриття». Визначено, що кількість води в приміщеннях басейна-барботера залежить від інтенсивності утворення конденсаційної вологи в літній період. Показано динаміку змісту урану, продуктів поділу (^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{154,155}\text{Eu}$) і трансуранових елементів (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm) у рідких радіоактивних відходах об'єкта «Укриття».

Ключові слова: уран, цезій, стронцій, плутоній, америцій рідкі радіоактивні відходи, об'єкт «Укриття».

LIQUID RADIOACTIVE WASTER ON LOWER MARKS OF OBJECT «Ukryttya»

O. O. Odintsov, V. E. Khan, V. O. Krasnov, V. M. Shcherbin

The results of regular control of the unorganized waters accumulations are presented on the lower marks of object «Ukryttya». It is certain that the amount of water in the apartments of pool- barboter a depends on intensity of formation of condensation moisture in a summer period. The dynamics of maintenance of uranium, products of division of (^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{154,155}\text{Eu}$) and transuranium (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm) in the liquid radioactive waster of object «Ukryttya».

Keywords: uranium, cesium, strontium, plutonium, americium, liquid radioactive waster, object «Ukryttya».

Поступила в редакцію 11.03.11