

А. А. Одинцов, В. Е. Хан

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

УТОЧНЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ДИНАМИКИ ПЕРЕТОКА ВОДЫ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

С помощью трассера определены динамика и объемы водопотоков в юго-восточной части объекта «Укрытие». Через помещение 017/2 в юго-восточной части объекта «Укрытие» ежегодно проходит порядка 10 – 12 м³ воды. Основное направление утечки из этого помещения в северную часть объекта «Укрытие» в помещение 001/3. Выполнена оценка выноса урана и радионуклидов из юго-восточной части объекта «Укрытие».

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

Введение

Источниками формирования водных протечек внутри объекта «Укрытие» являются атмосферные осадки, конденсат и пылеподавляющие растворы, поступающие в подкровельное пространство. В результате протечек внутри объекта «Укрытие» в помещениях, расположенных ниже отметки +12,50 м, формируются водные скопления. В период таяния снега и интенсивных осадков небольшие временные скопления воды образуются и на более высоких отметках [1 - 4]. С мая по сентябрь, когда температура внутри объекта «Укрытие» ниже, чем снаружи, на нижних отметках происходит образованию конденсата. В осенне-зимний период, в основном, происходит испарение влаги, что с уменьшением поступления осадков вызывает снижение объемов водных скоплений. Водные потоки попадают в помещения, где локализованы топливосодержащие материалы (ТСМ). Взаимодействие воды с конструкционными материалами и ТСМ приводит к образованию жидких радиоактивных отходов (ЖРО).

Водные протечки на нижние отметки объекта «Укрытие» формируют в помещениях 001/3, 012/13-16, 012/5-8 и 017/2 постоянные скопления ЖРО. Уровень воды в этих помещениях не меняется, несмотря на приток воды. Установлено, что по мере поступления избыток воды перетекает из этих помещений в другие помещения и за пределы объекта. Основные пути утечки воды за пределы объекта «Укрытие» находятся в его северной и юго-восточной частях.

В работе [1] с использованием индикаторного метода (трассера) были определены основные водопотоки внутри объекта «Укрытие» и динамика утечки «блочной» воды из северной части 4-го блока. Вода распространяется по объекту через частично разрушенные трубопроводы, трубные и кабельные проходки, люки, лестницы, дверные проемы, трещины и щели в межэтажных перекрытиях и стенах.

До настоящего времени оставалась невыясненной пространственно-временная схема движения воды в юго-восточной части объекта «Укрытие». Исследования направлений и интенсивности перетока воды в этой части объекта «Укрытие», а также оценка выноса урана и радионуклидов отсюда с водными потоками являются целью настоящей работы

Материалы и методы

На рис. 1 показано расположение основных водных скоплений и точек отбора проб воды на плане помещений 4-го блока ЧАЭС на отметке 0,00 м.

Большая часть водных протечек объекта «Укрытие» собирается в помещении 001/3 (отметка -2,60 м) блока вспомогательных систем реакторного отделения (ВСРО). Далее водный поток просачивается через разделительную стену по оси 41 и уходит за пределы объекта «Укрытие» на 3-й энергоблок. Количество воды в помещении 001/3 в течение года остается практически постоянным и составляет ~ 270 м³.

© А. А. Одинцов, В. Е. Хан, 2012

Таблица 1. Координаты помещений и номера точек отбора проб воды

Номер точки отбора	Номер помещения	Строительные координаты		
		Отметка, м	Ряд	Ось
1	001/3	-2,60	У – У1	40 – 41
18	017/2	0,00	Г – Д	43 – 44
30	001/3	-2,60	У – У1	49 – 50
31	012/6	-0,95	С - Т	46 – 47

9 апреля 2008 г в водное скопление помещения 017/2 был введен бромид натрия в количестве 10 кг (7,77 кг по бром). Объем скопления постоянный и составляет около 5,4 м³. Таким образом, начальная концентрация бромид-иона в воде равнялась 1440 мг/дм³.

Концентрацию бромид-иона в пробах воды определяли потенциометрическим методом с использованием бромид-селективного электрода и милливольтметра (рН-метр) типа Jenway (модель3071).

Содержание урана, плутония, америция и кюрия определяли из одной пробы воды по ионообменной методике. Активность ⁹⁰Sr определяли β-радиометрическими измерениями после радиохимического выделения, ¹³⁷Cs, ^{154,155}Eu, ²⁴¹Am – γ-спектрометрическими измерениями, ²³⁸Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²⁴¹Am и ²⁴⁴Cm – α-спектрометрическими измерениями после радиохимического выделения. Концентрацию урана определяли спектрофотометрическим методом. Погрешность определения концентрации урана и объемной активности радионуклидов не превышала 10 – 15 %.

Результаты и обсуждения

В табл. 2 представлены среднегодовые концентрации урана и объемные активности радионуклидов в воде помещения 017/2 в период 2005 – 2011 гг. Как следует из таблицы и рис. 2, наблюдается тенденция к некоторому снижению объемных активностей ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs.

Таблица 2. Содержание урана (г/м³) и радионуклидов (Бк/м³) в ЖРО объекта «Укрытие» в помещении 017/2

Год	Уран	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²⁴⁴ Cm
2005	3,4	1,5·10 ⁸	1,9·10 ⁹	9,5·10 ⁴	2,1·10 ⁵	6,7·10 ⁵	1,7·10 ⁴
2006	2,5	1,5·10 ⁸	2,1·10 ⁹	7,7·10 ⁴	1,7·10 ⁵	5,1·10 ⁵	1,5·10 ⁴
2007	1,5	1,1·10 ⁸	2,0·10 ⁹	1,2·10 ⁵	2,9·10 ⁵	1,5·10 ⁶	4,4·10 ⁴
2008	0,63	1,2·10 ⁸	1,4·10 ⁹	2,7·10 ⁵	6,4·10 ⁵	3,4·10 ⁶	1,0·10 ⁵
2009	0,62	9,8·10 ⁷	1,4·10 ⁹	1,9·10 ⁵	4,7·10 ⁵	2,1·10 ⁶	5,1·10 ⁴
2010	0,95	1,1·10 ⁸	1,5·10 ⁹	2,3·10 ⁵	5,6·10 ⁵	2,9·10 ⁶	6,8·10 ⁴
2011	0,64	4,4·10 ⁷	1,2·10 ⁹	1,6·10 ⁵	4,0·10 ⁵	1,9·10 ⁶	4,3·10 ⁴

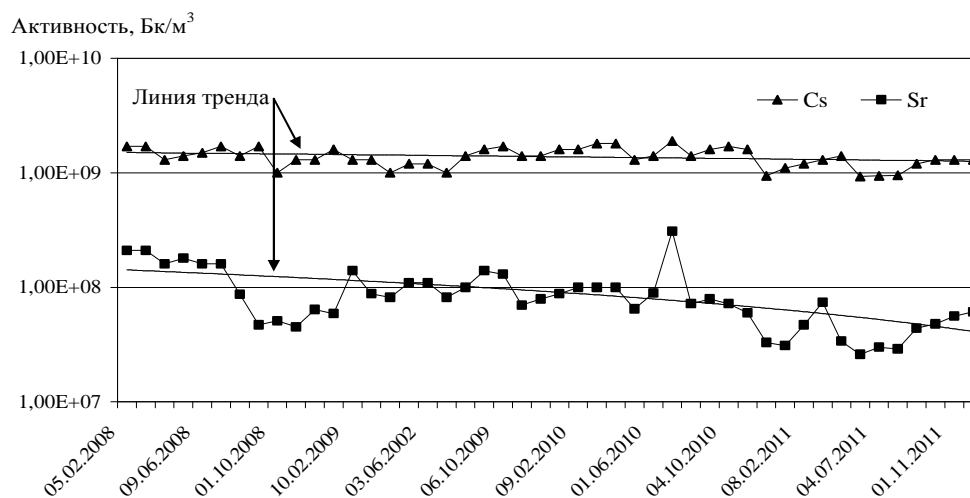


Рис. 2. Динамика объемных активностей ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в воде помещения 017/2.

На рис. 3 показана концентрация урана и объемная активность $^{239+240}\text{Pu}$ в ЖРО помещения 017/2 в 2008 – 2011 гг. Как видно на рисунке, концентрация урана сезонно изменялась от 0,2 до 1,9 мг/дм³, а активность $^{239+240}\text{Pu}$ - от 80 до 1000 Бк/дм³. При этом наблюдается тенденция к снижению среднегодового содержания урана и, наоборот, росту объемной активности плутония (см. табл. 2).

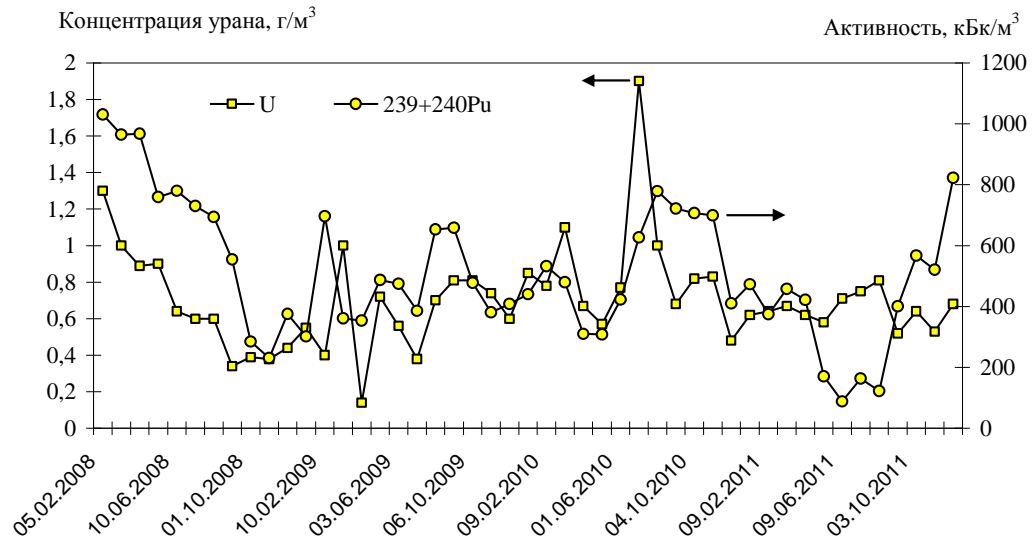


Рис. 3. Динамика концентрации урана и объемной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в воде помещения 017/2.

Через неделю после ввода трассера (16 апреля 2008 г.) концентрация бромид-иона в водном скоплении помещения 017/2 снизилась в 1,5 раза и продолжала снижаться до начала сентября (рис. 4). 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 находившегося в виде осадка бромид натрия. В результате в октябре – ноябре концентрация трассера в ЖРО помещения 017/2 несколько возросла, а затем снова стала снижаться (см. рис. 4).

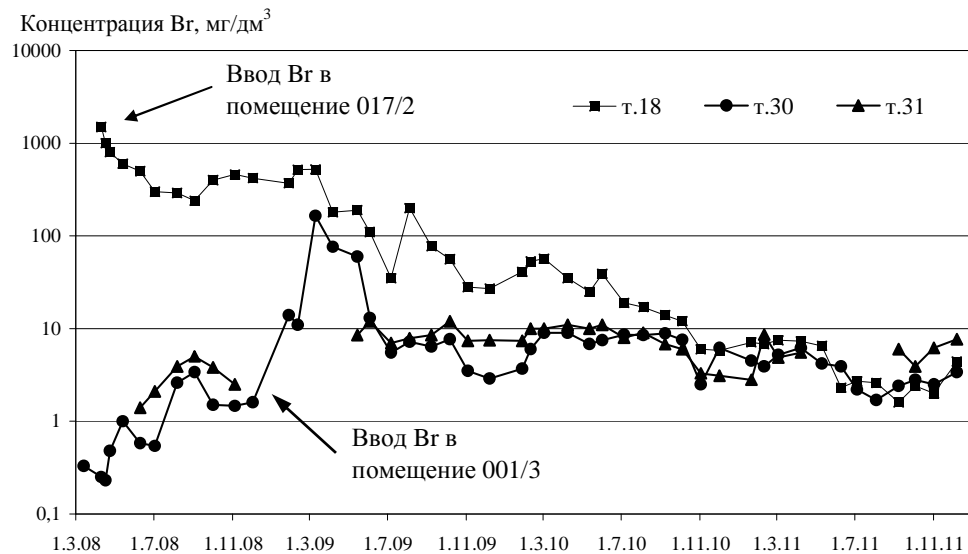


Рис. 4. Динамика концентрации бромид-иона в воде помещений 017/2, 001/3 и 012/6.

Одновременно со снижением содержания трассера в помещении 017/2 в водном скоплении помещения 001/3 концентрация бромид-иона, начиная от фоновое значения 0,25 мг/дм³, стала нарастать и в течение двух недель достигла значения 0,48 мг/дм³. Макси-

мальное значение концентрации бромидов ($3,4 \text{ мг/дм}^3$) зафиксировано в сентябре. Затем содержание бромидов постепенно уменьшилось в два раза (см. рис. 4). 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 само помещение 001/3 (см. рис. 1).

Результаты анализа проб воды в северной части первого этажа бассейна-барботера (помещение 012/6) из приемка на отметке $-0,95 \text{ м}$ показали, что после ввода трассера в помещение 017/2 здесь также повысилось содержание бромидов с $1,4 \text{ мг/дм}^3$ в июне 2008 г. до 12 мг/дм^3 в июне 2009 г. Это свидетельствует о наличии гидравлической связи между помещениями 017/2, 001/3 и 012/6.

В рамках радиогидроэкологического мониторинга 10 декабря 2008 г. в западную часть водного скопления в помещении 001/3 (см. рис. 1) было внесено дополнительно 77 кг трассера (бромид натрия) [5]. Это привело к увеличению концентрации бромид-иона в пробах воды в точке отбора 30 в январе 2009 г. до 11 мг/дм^3 , а в марте 2009 г. до 165 мг/дм^3 . Затем, в течение трех месяцев, концентрация трассера снизилась в 30 раз до $5,5 \text{ мг/дм}^3$.

Вследствие перетекания ЖРО из помещения 001/3 через разделительную стену в помещения 3-го блока там также содержание бромидов в водных скоплениях (точка отбора 1) возрастала с $0,23$ до $0,43 \text{ мг/дм}^3$.

В табл. 3 приведены объемные активности радионуклидов в пробах воды, отобранных в помещении 0025 блока Г, а также в помещениях объекта «Укрытие» 014/2 и 017/2 (точка 18). Из таблицы следует, что отношения активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ и $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ в ЖРО помещений 014/2, 017/2 и 0025 практически одинаковые. Это позволяет сделать вывод о том, что часть ЖРО из помещений объекта «Укрытие» перетекает в блок Г. При этом происходит их разбавление в 5–6 раз протечками атмосферных осадков. В итоге эти протечки накапливаются в помещении 0071, откуда откачиваются и разбавляются трапными водами 3-го блока для переработки по штатной технологии.

Таблица 3. Концентрации радионуклидов и урана в воде из помещений 014/2, 017/2 и 0025

Номер помещения	Объемная активность, Бк/м ³							
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	U г/м ³	²³⁸ Pu/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
014/2	$1,9 \cdot 10^9$	$9,2 \cdot 10^7$	$6,7 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^5$	$7,8 \cdot 10^5$	3,5	0,45	5,2
017/2	$3,2 \cdot 10^9$	$4,2 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^4$	$5,5 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^5$	2,6	0,44	5,1
0025	$1,0 \cdot 10^9$	$3,8 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^4$	$6,7 \cdot 10^4$	0,29	0,44	5,2

Из рис. 4 видно, что в конечном итоге концентрация трассера в воде помещения 017/2 снизилась на три порядка. Очевидно, что это связано с процессом его вытеснения в результате водного обмена поступающей с верхних отметок воды, не содержащей брома. Динамика вытеснения индикатора из водного скопления, т. е. зависимость концентрации от времени после достижения максимума, может быть описана зависимостью [1]

$$C_t = C_0 \exp(-f \cdot t / V), \tag{1}$$

где C_t – концентрация индикатора к моменту t ; C_0 – концентрация индикатора в начальный момент; f – скорость водного обмена, м³/мес; t – время, через которое достигается концентрация C_t , мес; V – объем воды в водном скоплении, м³.

Определение скорости поступления и утечки воды (f) сводится к решению обратной задачи.

$$f = -\ln(C_t / C_0) V / t. \tag{2}$$

При расчете скорости утечки воды из помещения 017/2 использовались следующие исходные данные:

объем воды в помещении $5,4 \text{ м}^3$;

концентрация бромидов в начальный момент времени 9 апреля 2008 г. 1500 мг/л (см. рис. 4);

концентрация бромидов в момент времени t 7 декабря 2011 г. 1,2 мг/л (см. рис. 4);
время, в течение которого концентрация бромидов снижается до 1,2 мг/л, 43 мес.

Расчет по формуле (2) показывает, что утечка воды из юго-восточной части помещения 017/2 составляет 0,9 м³/мес или в среднем за период 2008 – 2011 гг. 11 м³/год. Более детальный расчет объемов утечки воды (м³) по годам составлял: 2008 г. – 11,3; 2009 – 13,9; 2010 – 12,4 и 2011 – 10,1 .

В 2005 и 2006 гг. были проведены наблюдения за количеством ЖРО, поступающим в помещение 017/2 и перетекающим за его пределы [6]. В результате установлено, что в течение октября – декабря 2005 г. средняя скорость перетока ЖРО составила 0,027 м³/сут (9,6 м³/год), а в период с 17 мая по 5 июля 2006 г. - 0,033 м³/сут (12 м³/год). Данные наблюдений хорошо согласуются с результатами экспериментов по вводу трассера в помещение 017/2.

В табл. 4 представлены оценки выноса урана и радионуклидов с водными потоками, проходящими через помещение 017/2 в помещения 018/2 и 025/2. Количество урана и активность радионуклидов рассчитаны из среднегодовых значений концентрации урана и объемных активностей радионуклидов.

Таблица 4. Вынос урана и радионуклидов через помещение 017/2

Год	Уран, г	⁹⁰ Sr, Бк	¹³⁷ Cs, Бк	²³⁸⁺²³⁹⁺²⁴⁰ Pu, Бк	²⁴¹ Am, Бк	²⁴⁴ Cm, Бк
2005	37	1,7·10 ⁹	2,1·10 ¹⁰	3,4·10 ⁶	7,4·10 ⁶	1,9·10 ⁵
2006	30	1,8·10 ⁹	2,5·10 ¹⁰	3,0·10 ⁶	6,1·10 ⁶	1,8·10 ⁵
2007	18	1,3·10 ⁹	2,4·10 ¹⁰	4,9·10 ⁶	1,8·10 ⁷	5,3·10 ⁵
2008	7,1	1,4·10 ⁹	1,6·10 ¹⁰	1,0·10 ⁷	3,8·10 ⁷	1,1·10 ⁶
2009	8,6	1,4·10 ⁹	1,9·10 ¹⁰	9,2·10 ⁶	2,9·10 ⁷	7,1·10 ⁵
2010	12	1,5·10 ⁹	1,9·10 ¹⁰	9,8·10 ⁶	3,6·10 ⁷	8,4·10 ⁵
2011	6,4	4,4·10 ⁸	1,2·10 ¹⁰	5,6·10 ⁶	1,9·10 ⁷	4,3·10 ⁵
Σ	120	9,5·10 ⁹	1,4·10 ¹¹	4,6·10 ⁷	1,5·10 ⁸	4,0·10 ⁶

В период 2005 – 2008 гг. наблюдается снижение выноса урана с 37 до 7,1 г в год, в дальнейшем годовой вынос урана стабилизировался на уровне 8,5 г. Вынос ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в течение 2005 – 2011 гг. изменялся незначительно и составляет в среднем 1,4·10⁹ и 1,9·10¹⁰ Бк/год соответственно. В отличие от урана, ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs вынос плутония, америция и кюрия в период 2005 - 2009 гг. имел устойчивую тенденцию к увеличению, что, вероятно, связано с накоплением мобильных форм соединений трансураниевых элементов.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что часть южного водопотока поступает в помещение 001/3 ВСПО, где собирается большая часть водных протечек из северной и центральной частей блока Б. Это перетекание осуществляется через систему сбора трапных вод в коллекторные трубопроводы, расположенные в помещении 001/3. Выход воды из трубопроводов в само помещение происходит, вероятно, по причине нарушения герметичности этих коллекторов.

Таким образом, задача удаления скоплений ЖРО на нижних отметках объекта «Укрытие», в основном, сводится к организации откачки «блочной» воды из помещения 001/3.

Выводы

Вода, поступающая в помещение 017/2 с верхних отметок, содержит уран, продукты деления и ТУЭ, что свидетельствует о процессах разрушения и растворения ТСМ.

Из помещения 017/2 вода в объеме порядка 11 м³/год поступает в помещение 018/2 и далее в помещение 001/3 ВСПО, а также в помещение 025/2.

За период 2005 – 2011 гг. с водными потоками через помещения юго-восточной части блока Б на 3-й блок ЧАЭС поступило порядка 120 г урана, 9,5·10⁹ Бк ⁹⁰Sr, 1,4·10¹¹ Бк ¹³⁷Cs и 2,1·10⁸ Бк ТУЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Криницын А.П., Стрихарь О.Л., Щербин В.Н., Корнеев А.А. О механизме формирования жидких радиоактивных отходов в помещениях блока Б и ВСРО // Проблемы Чернобиля. – 2002. - Вип. 9. – С. 98 – 104.
2. Богатов С. А., Корнеев А. А., Криницын А. П. и др. Исследования водопотоков внутри объекта «Укрытие» // Радиохимия. – 2000. – Т. 42, № 3. – С. 276 – 280.
3. Корнеев А. А., Криницын А. П., Стрихарь О. Л., Щербин В. Н. Жидкие радиоактивные отходы внутри объекта «Укрытие» // Там же. – 2002. – Т. 44, № 6. – С. 545 – 552.
4. Криницын 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.
5. Радиогидроэкологический мониторинг в районе объекта «Укрытие»: (Отчет о НИР, договор 276/08) / ИПБ АЭС НАН Украины. - Чернобыль, 2008. – 148 с.
6. Уточнение динамики накопления среднеактивных жидких радиоактивных отходов на нижних отметках объекта «Укрытие», направлений их утечки, особенностей радионуклидного и химического состава: (Отчет о НИР) / ИПБ АЭС НАН Украины. - Чернобыль, 2006. – 84 с.

О. О. Одинцов, В. Е. Хан

УТОЧНЕННЯ НАПРЯМУ ТА ДИНАМІКИ ПЕРЕТІКАННЯ ВОДИ В ПІВДЕННО-СХІДНІЙ ЧАСТИНІ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»

За допомогою трасера (бромід-іон) визначено динаміку та об'єми надходження води в південно-східній частині об'єкта «Укриття». Через приміщення 017/2 щорічно проходить близько 10 – 12 м³ води, при цьому там постійно знаходиться 5,4 м³ рідких радіоактивних відходів. Основний напрям перетікання у північну частину об'єкта «Укриття» в приміщення 001/3 допоміжних систем реакторного відділення. Зроблено оцінку винесення урану та радіонуклідів із південно-східної частини об'єкта «Укриття».

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

O. O. Odintsov, V. E. Khan

CLARIFICATION OF DIRECTION AND DYNAMICS OF CROSS FLOW OF WATER IN SOUTH-EAST PART OF OBJECT «UKRYTTYA»

By tracer (bromide-ion) a dynamics and volumes of receipt of water is certain in south-east part of object «Ukryttya». Through the apartment 017/2 annually passes about 10 – 12 m³ waters here there constantly there is 5,4 m³ of liquid radio-active waster. Basic direction of cross flow in north part of object «Ukryttya» in the apartment 001/3 auxiliary systems of reactor part. The estimation of bearing-out of uranium and radionuclides is done from south-east part of object «Ukryttya».

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

Надійшла 05.03.2012

Received 05.03.2012