

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВ В РАЙОНЕ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

Н. И. Панасюк, А. М. Алферов, С. С. Подберезный, Г. В. Левин, И. А. Литвин

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Одним из тяжелых последствий аварии на 4-м энергоблоке ЧАЭС явилось сильное радиоактивное загрязнение грунтов и подземных вод окружающей территории в непосредственной близости от разрушенного реактора. Устройство фундаментов нового безопасного конфайнмента (НБК) связано с большими объемами извлекаемых из котлованов грунтов. Эти грунты могут оказаться твердыми радиоактивными отходами (РАО) от первой до третьей категории со всеми вытекающими проблемами обращения с РАО. В работе выполнен прогноз количества РАО, представленных разрабатываемыми грунтами в пятне проектируемого фундамента НБК для обоснования оптимальных строительных решений при проектировании обращения с радиоактивно загрязненными грунтами. Выполнена оценка количества ядерного топлива, захороненного в грунтах локальной зоны объекта «Укрытие». Настоящая статья является обзором основных результатов работ по исследованию проблем связанных с радиоактивным загрязнением грунтов.

С существованием радиоактивно загрязненных грунтов в локальной зоне объекта «Укрытие» и на промплощадке ЧАЭС связано две проблемы. Во-первых, они являются источником радиоактивного загрязнения подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков. Во-вторых, они представляют собой источники радиационной и экологической опасностей, возникающих при осуществлении мероприятий, в том числе земляных работ, в рамках различных проектов преобразования объекта "Укрытие", включая строительство нового безопасного конфайнмента (НБК), а также вывода ЧАЭС из эксплуатации.

В обоих случаях для обеспечения радиационной и экологической безопасности проектов преобразования объекта "Укрытие" и вывода ЧАЭС из эксплуатации, а также для принятия мер по нераспространению радиоактивных материалов (РАМ) в окружающей среде, необходимо иметь достоверные сведения об уровнях загрязнения, пространственном распределении и других характеристиках радиоактивно загрязненных грунтов и грунтовых вод.

Во всех проектах, в том числе выполняющихся в рамках плана осуществления мероприятий на объекте «Укрытие» (ПОМ), в которых планировалась работа с грунтами, ставится задача охарактеризовать их радиоактивное загрязнение. Т. е. пространственное распределение, удельные активности, величины мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-поля по стволу скважин, а также формы нахождения и параметры миграции радионуклидов.

В любом случае вопрос о миграции радионуклидов за пределы исследуемой территории будет оставаться актуальным до ее полной очистки и устранения других источников радиоактивного загрязнения.

Особый интерес представляют также оценки количества ядерного топлива, захороненного в грунтах вблизи разрушенного реактора. Эти данные необходимы для сведения баланса ядерного топлива, выброшенного из 4-го реактора и оставшегося внутри него, так как дискуссии по этому поводу продолжаются до сих пор.

История изученности уровней радиоактивного загрязнения

В результате замеров радиационной обстановки с помощью наземных и воздушных средств в период с 17 - 22 мая и до начала июня 1986 г. были получены первые сведения о количестве ядерного топлива, выброшенного из реактора на промплощадку ЧАЭС [1]. Эти данные составили:

700 кг (с погрешностью не менее 30 %) – данные Радиового института им. В. Г. Хлопина (РИ);

600 кг (с погрешностью -30 + 50 %) – данные Института атомной энергии им. И. В. Курчатова (ИАЭ) с учетом результатов работы РИ.

Затем были проведены работы по:
сбору и удалению высокоактивных фрагментов активной зоны реактора (АЗФ);
удалению поверхностного слоя грунта, содержащего как АЗФ, так и мелкодиспергированное ядерное топливо;

засыпанию поверхности прилегающей территории слоями цемента, песка, щебня, а также укладки бетона и железобетонных плит;

бетонированию завала строительных конструкций в основании современных каскадной и контрфорсной стен, что приводило к растеканию бетонного раствора на окружающую территорию с привнесением дополнительных существенных количеств РМ;

В результате значительное количество РМ, выпавшее на окружающую территорию при аварии и привнесенное в процессе возведения объекта «Укрытие», оказалось погребенным под слоем послеаварийных техногенных грунтов.

Следующим этапом проведения исследований явились научные работы, сопровождающие проходку наблюдательных скважин.

Сотрудниками Комплексной экспедиции при ИАЭ, а затем МНТЦ «Укрытие» НАН Украины в 1991 - 1992 гг. были осуществлены в небольшом объеме буровые работы в северной части локальной зоны объекта «Укрытие».

Комплекс исследований состоял в следующем:

описание вещественного состава пробуренных грунтов;

отбор проб из керна скважин и проведение радиометрических и радиохимических анализов;

проведение гамма-каротажа скважин.

В 1994 - 1995 гг. буровым участком объекта «Укрытие» были пробурены 25 скважин, относительно равномерно расположенных по локальной зоне объекта, из которых девять скважин были оборудованы в качестве наблюдательных за подземными водами.

Начиная с конца 1996 г., совместными усилиями сотрудников объекта «Укрытие» и авторами данной статьи осуществляются постоянные режимные наблюдения и исследования за радиоактивным загрязнением грунтов и подземных вод на участке вокруг 2-й очереди главного корпуса ЧАЭС (3-й и 4-й энергоблоки).

Основные результаты работ

На основании обобщения всех доступных результатов исследований и проведения полевых работ была выполнена оценка количества, вещественного состава и пространственного распределения РМ, захороненных в техногенных грунтах локальной зоны объекта "Укрытие" и прилегающей промплощадки ЧАЭС [2 - 3]. **2, 3, 4].**

Оценка эта проведена на основании:

ретроспективного анализа хода аварии, проектных и исполнительных материалов дезактивационных и строительных работ, проводившихся на промплощадке ЧАЭС после аварии;

изучения распределения и изменения радиационной обстановки на окружающей аварийный блок территории;

результатов бурения скважин;

радиохимического и радиометрического опробования проб грунтов из керна скважин;

проведения гамма-каротажа скважин и гамма-спектрометрической его модификации;

результатов радиохимического опробования насыпных грунтов в процессе проходки котлована у стен объекта «Укрытие» в 1998 - 2000 гг.

В грунтах промплощадки ЧАЭС по данным лабораторных анализов проб из керна идентифицированы уран, плутоний, ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am (табл. 1).

На основании имеющихся данных была выполнена оценка количества ^{137}Cs в грунтах локальной зоны объекта «Укрытие» равная $1,7 \cdot 10^{15}$ Бк (на 1998 г.).

Таблица 1. Распределения удельных активностей и концентраций радионуклидов в грунтах локальной зоны объекта "Укрытие" по пробам из керн скважин

Группа грунтов	^{137}Cs , Бк/г	^{90}Sr , Бк/г	Уран, мкг/г	^{238}Pu , Бк/г	$^{239+240}\text{Pu}$, Бк/г	^{241}Am , Бк/г
Послеаварийные техногенные (t^{IV} , зона I)	$2,0 \cdot 10^{-1}$ - $5,7 \cdot 10^2$	$2,0 \cdot 10^{-1}$ - $7,0 \cdot 10^1$	$2,0 \cdot 10^{-1}$ - $8,0 \cdot 10^0$	$2,1 \cdot 10^{-3}$ - $5,0 \cdot 10^{-1}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$ - $1,0 \cdot 10^0$	$3,8 \cdot 10^{-3}$ - $1,0 \cdot 10^0$
"Активный" слой (t^{IV} , зона II)	$7,1 \cdot 10^2$ - $1,9 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^2$ - $2,0 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^0$ - $2,2 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^0$ - $1,6 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^0$ - $3,0 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^0$ - $3,9 \cdot 10^4$
Доаварийные техногенные (t^{IV} , зона III)	$4,1 \cdot 10^{-2}$ - $9,5 \cdot 10^3$	$5,1 \cdot 10^{-2}$ - $1,7 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^{-1}$ - $8,0 \cdot 10^0$	$4,0 \cdot 10^{-4}$ - $1,3 \cdot 10^2$	$9,1 \cdot 10^{-4}$ - $2,7 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^{-4}$ - $1,0 \cdot 10^0$
Естественные аллювиальные (a^{IV} , зона IV)	$5,6 \cdot 10^{-2}$ - $4,76 \cdot 10^2$	$5,0 \cdot 10^{-2}$ - $1,2 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^{-1}$ - $1,4 \cdot 10^0$	$1,2 \cdot 10^{-3}$ - $1,6 \cdot 10^0$	$2,9 \cdot 10^{-3}$ - $2,5 \cdot 10^0$	$3,5 \cdot 10^{-3}$ - $1,8 \cdot 10^0$

Это количество ^{137}Cs соответствует 0,6 % от наработанного в реакторе 4-го блока и 60 % от запаса, локализованного в 30-сантиметровом слое грунта 30-километровой зоны в виде топливной компоненты [5, 6]. Количество других радионуклидов определялось корреляционными отношениями их с концентрацией ^{137}Cs . Используя эмпирическую зависимость $A(^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr})$, можно определить, что последнего в техногенных грунтах вокруг объекта «Укрытие» локализовано 0,7 % от наработанного в реакторе (табл. 2) и 220 % от захороненного в 30-сантиметровом слое зоны отчуждения, если сравнивать с результатами [6].

Таблица 2. Количество основных радионуклидов, захороненных в грунтах локальной зоны (на 1998 - 2000 гг.)

Параметр	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{238}\text{Pu}^*$	$^{239+240}\text{Pu}^*$	$^{241}\text{Am}^*$
Активность, Бк	$1,7 \cdot 10^{15}$	$1,7 \cdot 10^{15}$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{13}$	$3,0 \cdot 10^{13}$
Количество от наработанных в реакторе, %	0,6	0,7	0,9		18
Количество от захороненных в 30-сантиметровом слое зоны отчуждения [6], %	60	220	167	147**	167

* Для расчета запасов данных радионуклидов использовались топливные отношения с активностями ^{137}Cs

** Возможно, запасы $^{239+240}\text{Pu}$ в 30-сантиметровом слое зоны отчуждения ЧАЭС, приведенные в работе [6], завышены.

На основании приведенных данных и использовании известной зависимости между количеством ^{137}Cs и количеством ядерного топлива была сделана оценка содержания ядерного топлива в грунтах промплощадки объекта "Укрытие", которая составила около $1,6 \text{ т} \pm 40 \%$. Это составляет менее 1 % от количества топлива в активной зоне реактора на момент аварии.

Расхождения с вышеприведенными подсчетами, выполненными РИ и ИАЭ, вероятно, связаны с последующим дополнительным привнесом на промплощадку ЧАЭС топливных частиц с бетонным раствором в процессе бетонирования помещений объекта «Укрытие» и завала в основании современных контрфорсной и каскадной стен.

Схематизация и районирование радиационных условий в грунтах локальной зоны объекта «Укрытие» позволила провести предварительную оценку количества, групп (СП АС-88) и вещественного состава РАО, представленных радиоактивно загрязненными техногенными грунтами (табл. 3).

Подсчет количества и выделение категорий РАО, представленных радиоактивно загрязненными грунтами, использовались для обоснования радиационной и экологической безопасности в проектах преобразования объекта "Укрытие", включая стабилизационные мероприятия и концептуальный проект НБК. При этом наличие ВАО в грунтах основания оказалось одним из решающих факторов в выборе типа фундамента сооружения для стаби-

лизации западного фрагмента. Также результаты исследований использовались для разработки интегрированной программы обращения с РАО на ЧАЭС.

Таблица 3. Количество и группы РАО (тыс. м³/тыс. т), представленные грунтами локальной зоны объекта «Укрытие»

РАО	Техногенные грунты	
	НАО + САО	ВАО
Грунты промплощадки (участки 1 - 6)	286/536	2/3,8
Контейнеры за пионерными стенами	-	1,7/2,5
Итого	286/536	4/6

Применение ГИС-технологий при проведении радиоэкологических исследований позволили подтвердить и уточнить вышеприведенные результаты [7].

Средствами ArcGIS 8.3 ArcView 8.3 построены карты параметров активного слоя загрязненных грунтов локальной зоны объекта «Укрытие»: распределения удельной активности ¹³⁷Cs, мощности, глубины залегания и других пространственных характеристик.

На основании этих данных выполнена оценка количества ¹³⁷Cs в активном слое по состоянию на 1 января 2005 г., которая составила $1,6 \cdot 10^{15}$ Бк. Это соответствует количеству ядерного топлива, равному $1,8 \text{ т} \pm 40\%$. Эти данные удовлетворительно согласуются с расчетами, выполненными нами в 1998 - 2000 г. (см. выше).

Применение ГИС-технологий позволили создать карты распределения и подсчитать количества радиоактивных отходов по категориям (ОСПЗРБУ-2005), представленных грунтами активного слоя в локальной зоне объекта «Укрытие» (табл. 4) и на участке устройства фундаментов НБК (табл. 5).

Таблица 4. Объемы РАО активного слоя локальной зоны объекта «Укрытие»

Категория РАО		МЭД, мР/ч	Объем, м ³	Мощность активного слоя, м	Площадь, м ²
I	НАО	<10	860	0,1 - 0,85	2553
II	САО	10 - 750	8770	0,1 - 1,4	39120
III	САО (ВАО)	750* - 1000	580	0,1 - 0,68	5321
III	ВАО	>1000	940	0,1 - 0,7	4173

* Учитывая погрешность измерения МЭД до 25 %, грунты, МЭД от которых составляет выше 750 мР/ч, в процессе сортировки могут быть отнесены к ВАО.

Таблица 5. Количество НАО, САО и ВАО на участке фундамента НБК

Участок	Объем, м ³	МЭД, Р/ч	Глубина залегания, м	Мощность, м
ВАО-1	300	1 - 3,5	2,7 - 3,0	0,1 - 0,26
ВАО-2	110	1 - 28	5,6 - 5,7	0,3 - 0,4
ВАО-3	420	1 - 1,1	1,6 - 10	0,36 - 0,58
Всего ВАО	830			
Всего САО	4308	0,01 - 1		
НАО - послеаварийные грунты	59920			1,9 - 10

Вышеприведенные подсчеты являются консервативной оценкой. Даже если «ужесточить» методику расчета и ввести барьеры интерполяции величины МЭД и мощности актив-

ного слоя, то и в этом случае количество ВАО (табл. 6) [8] существенно отличается от заложенного в концептуальном проекте НБК, равного 120 м³ [9].

Таблица 6. Количество ВАО на участке фундамента НБК

Участок	Объем, м ³	Площадь, м ²	МЭД, Р/ч	Глубина залегания, м	Мощность слоя, м
ВАО-1	214	1075	0,75 - 2,8	2,7 - 3,0	0,17 - 0,3
ВАО-2	31	106	7 28	5,6 - 5,7	0,21 - 0,3
ВАО-3	235	2268	0,75 - 0,96	1,6 - 10	0,1 - 0,16
Всего ВАО	480				

Выводы

1. В результате выполненных работ появилась реальная возможность свести баланс ядерного топлива, поступившего за пределы разрушенного реактора в результате аварии (ранее достоверные данные были получены без учета промплощадки ЧАЭС).

2. Ядерное топливо, захороненное в грунтах локальной зоны объекта «Укрытие», определено в количестве 1,8 т ± 40 %.

3. Количество ВАО, представленных грунтами, которые подлежат разработке при устройстве фундаментов НБК, при консервативной оценке может достигнуть 830 м³. Это же количество ВАО при «ужесточенных» оценках равно 480 м³.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анализ текущей безопасности объекта "Укрытие" и прогнозные оценки развития ситуации.* - Чернобыль: ПО "Чернобыльская АЭС", 1996.
2. *Характеризация радиоактивных отходов, локализованных на промплощадке объекта "Укрытие".* Задача 1. Инвентаризация, обобщение и анализ данных о видах и объемах радиоактивных материалов, сосредоточенных на промплощадке объекта "Укрытие": (Отчет) / МНТЦ "Укрытие" НАН Украины. - Чернобыль, 1998.
3. *Панасюк Н.И., Павлюченко Н.И., Рудько В.М. и др.* Предварительная оценка экологической и радиационной опасности радиоактивных материалов, захороненных в локальной зоне объекта "Укрытие" и на промплощадке ЧАЭС" // Наукові та технічні аспекти міжнародного співробітництва в Чорнобилі: Зб. наук. ст. – К.: Вища шк., 2001. - Вип. 3. - С. 345 - 362.
4. *Панасюк Н.И., Павлюченко Н.И., Рудько В.М. и др.* Результаты работ по оценке радиоактивного загрязнения грунтов и подземных вод в районе объекта "Укрытие" // Проблеми Чорнобиля. - 2001. - Вип. 7. - С. 97 - 115.
5. *Кашипаров В.А., Лундин С.М., Хомутинин Ю.В. и др.* Загрязнение ⁹⁰Sr территории ближней зоны аварии на ЧАЭС // Радиохимия. – 2000. - Т. 42, № 6. - С. 550 - 559.
6. *Кашипаров В.О., Лундин С.М., Зварич С.І. та ін.* Викид та забруднення території радіонуклідами у складі паливних частинок // Бюл. екологіч. стану зони відчуження і безумовного (обов'язкового) відселення. – 2002. - № 2 (20). - С. 22 - 31.
7. *Подберезный С. С., Панасюк Н. И., Оружий А. П.* Применение технологий геоинформационных систем при обработке данных радиоэкологического мониторинга в районе объекта "Укрытие" // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2005. – Вип. 2. – С. 99 – 103.
8. *Ключников А.А., Панасюк Н.И., Подберезный С.С. и др.* Прогноз количества радиоактивных отходов в грунтах на участке фундамента нового безопасного конфайнмента// Там же. - 2006. - Вип. 6. - С. 145 - 147.
9. *Проект фундамента – Стратегия обращения с радиоактивными отходами при проведении земляных работ.* FD-305, редакция А. План осуществления мероприятий на объекте «Укрытие». Концептуальный проект нового безопасного конфайнмента. Чернобыльская атомная электростанция – 4 энергоблок. ГСП ЧАЭС. - К., 2003. – 56 с.

Поступила в редакцию 16.10.08