

**М. Д. Бондарьков, А. М. Максименко, Б. Я. Осколков¹,
В. М. Антропов, В. П. Мельниченко, О. Г. Третяк²**

¹ ГНИУ «Чернобыльский центр по проблемам ядерной безопасности, радиоактивным отходам и радиоэкологии», Киевская область, Славутич, ул. 77-й Гвардейской дивизии, 11, 07101, Украина

² ГСП «Центральное предприятие по обращению с радиоактивными отходами», Чернобыль, ул. Кирова, 52, 07270, Украина

ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ В ОБЪЕКТАХ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

Представлены результаты обследования и поиска делящихся материалов в отдельных буртах пункта временной локализации радиоактивных отходов (ПВЛРО) "Старая стройбаза" и пунктах захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) "3 очередь ЧАЭС" и "Подлесный", расположенных на территории чернобыльской зоны отчуждения. По результатам обследования данных объектов обнаружены признаки присутствия делящихся материалов в ПЗРО. В отобранных образцах радиоактивных отходов из всех объектов измерены активности радиоактивных изотопов, в том числе делящихся. Даны оценки состояния захоронений и предложения по методике таких обследований.

Ключевые слова: чернобыльская зона отчуждения, радиоактивные отходы, захоронения радиоактивных отходов.

Введение

В рамках контракта Blanket Master Contract (BMC) No. 00126077 (SOW-11175, SOW-11735, SOW-12556) Чернобыльским центром при поддержке DOEUS, совместно с Национальной лабораторией (INL) в Айдахо и национальной лабораторией Лос-Аламос в период 2013 – 2016 гг. был выполнен проект по поиску и исследованию делящихся материалов в чернобыльской зоне отчуждения (ЧЗО). На основе предварительной оценки были выбраны объекты, в которых предполагалось наличие делящихся материалов, к которым возможен несанкционированный доступ [1]. По решению экспертной технической группы проекта для исследований были выбраны объекты: ПЗРО "Подлесный" (объект 1); борт захоронения радиоактивных отходов (РАО), находящийся в районе объекта "Укрытие" и получивший условное название "Объект 300 м от ОУ" (объект 2); борт № 33 ПВЛРО "Старая стройбаза" (объект 2/1); ПЗРО "3 очередь ЧАЭС" (объект 3) (рис. 1). Исследования объектов производились специалистами ЦППРВ ДАЗВ ЧЗО и ЧАЭС.

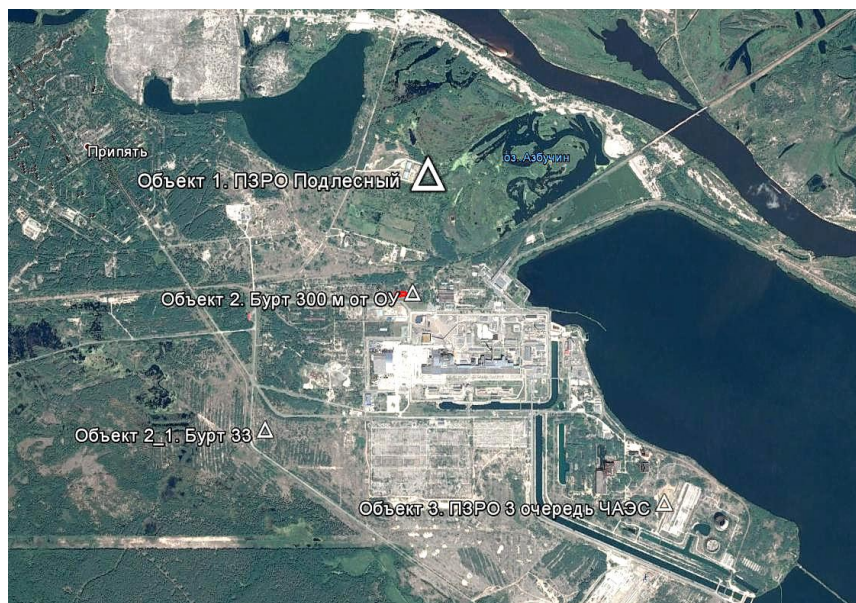


Рис. 1. Объекты исследования по проекту.

© М. Д. Бондарьков, А. М. Максименко, Б. Я. Осколков,
В. М. Антропов, В. П. Мельниченко, О. Г. Третяк, 2017

Методы исследования

Для проведения исследований использовался комплекс полевых геофизических и лабораторно-аналитических методов. Изучение каждого объекта проводилось в два этапа. На первом этапе выполнялись исследования без нарушения защитных изолирующих свойств объекта: геодезическая съемка, поверхностная гамма-съемка, магнитометрия, георадарные измерения, электрометрия. На этом этапе определялись конфигурация и геодезические параметры объекта, проводилась первичная радиологическая характеристика. На втором этапе выполнялись работы с вторжением в основное тело захоронения для характеристики видов и распределения захороненных РАО и отбора проб для лабораторных исследований. Производилось бурение поверхностных и глубоких скважин и выработка шурфов. В скважинах и шурфах выполнялся нейтронный и гамма-каротаж, фото- и видеосъемка, отбор проб для лабораторных исследований. Анализ проб включал гамма- и альфа-спектрометрию, радиохимический анализ, масс-спектрометрию.

Проведение полевых работ

Объект 2. "Объект 300 м от ОУ"

Объект представляет собой бурт высотой до 3 м, вытянутый вдоль автодороги на ЧАЭС с востока на запад, длиной ≈ 93 м, шириной ≈ 15 м. Поверхность бурта неровная, южная сторона круто падает к дороге; восточная и северная часть - высокая с зарослями молодого леса. "Подошва" бурта находится на отметке 107 м (отметка уровня воды в р. Припять 103 м). Поверхностная гамма-съемка объекта не выявила значительных источников излучения. При магнитометрическом исследовании захоронения обнаружен ряд положительных магнитных аномалий, указывающий на наличие металлических объектов. В точках с наиболее высокими значениями мощности эквивалентной дозы были выполнены разведочные скважины.

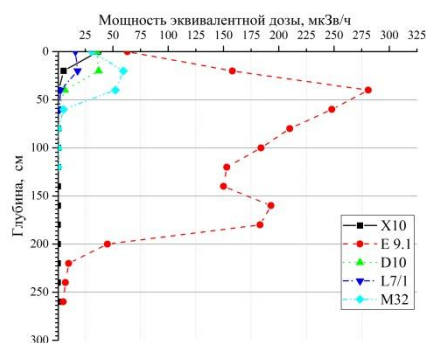


Рис. 2. Бурение разведочных скважин на объекте 2 и результаты гамма-каротажа.

В результате бурения разведочных скважин установлено, что для большей части объекта под слоем радиоактивно загрязненного грунта находился слой бетона либо щебня, в некоторых скважинах бетон не обнаруживался. Максимальные значения мощности дозы гамма-излучения наблюдались в поверхностном слое грунта на глубине от 60 см (рис. 2). В скважинах, где не был обнаружен бетон, повышенные значения мощности дозы распространялись на глубину до 2 м. Геофизические измерения и лабораторные исследования отобранных образцов из этой группы скважин не выявили признаков наличия делящихся материалов, поэтому в точках наиболее крупных магнитных аномалий проведено дополнительное бурение. В результате обнаружены в слоях бетона и песка скопления металлолома (металлическая арматура), которые и выдавали положительные сигналы при магнитной съемке. Источников нейтронного излучения в скважинах не выявлено.

Исследования с помощью георадара (Ground Penetration Radar system, Mala X3M) показали, что в данном захоронении под слоем грунта располагаются бетонные участки, ниже которых залегает естественный песчаный грунт. Каких-либо конструктивных элементов в объекте не обнаружено. Лабораторные исследования проб, отобранных в скважинах, подтвердили отсутствие в объекте значимых количеств радиоактивных веществ. Удельная активность гамма-излучающих радионуклидов в разведочных скважинах объекта 2 представлена на рис. 3.

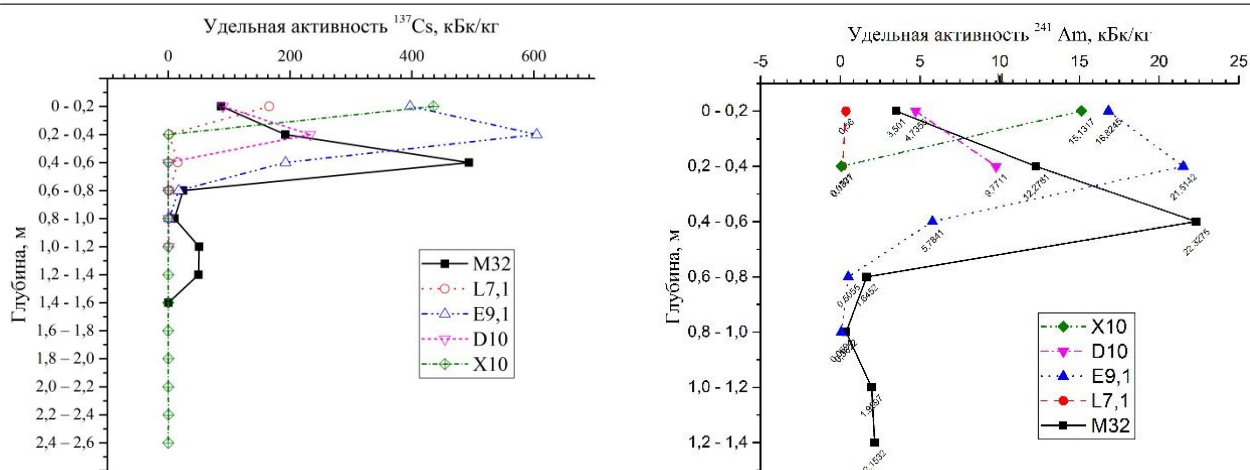


Рис. 3. Удельная активность гамма-излучающих нуклидов в пробах грунта из скважин объекта 2.

Как видно из диаграмм, основная доля активности радионуклидов сосредоточена в верхнем (60 см) слое грунта. Максимальный уровень активности ¹³⁷Cs, обнаруженный на глубине 60 см, составлял 493,79 кБк/кг; ²⁴¹Am - 22,32 кБк/кг. Проба из скважины с наибольшими уровнями мощности эквивалентной дозы (МЭД) исследована на содержание трансурановых радионуклидов (табл. 1).

Таблица 1. Результаты радиохимического анализа радионуклидов в пробе почвы, отобранной на глубине 1,6 – 1,8 м скважины E9,1

Радионуклид	Удельная активность, кБк/кг	Относительная суммарная погрешность, ±δ, P = 0,95	Массовая доля изотопа (расчетное значение), мкг/г
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	9,3384	1,1601	-
²³⁸ Pu	3,6701	0,4634	-
²⁴¹ Pu	143,5493	17,8331	-
²⁴¹ Am	18,9346	1,3210	-
²³⁸ U	0,0085	0,0007	6,852·10 ⁻¹
²³⁴ U	0,0226	0,0015	9,822·10 ⁻⁵
²³⁵ U	0,00065	0,00014	8,144·10 ⁻³

Полученные значения удельной активности относительно невысоки, однако превышают утвержденные уровни освобождения для загрязненной территории промплощадки ЧАЭС, рассчитанные на 2017 г.: по америцию в 5,7 раза; по ²³⁸Pu в 3,7 раза; по ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в 4 раза (табл. 2).

Таблица 2. Численные значения критериев уровней освобождения 1-й группы для территории усиленного контроля Чернобыльской АЭС [2]

Изотоп	Массовая удельная активность грунта, кБк/кг	
	На 2016 г.	На 2017 г.
⁹⁰ Sr	120	120
¹³⁷ Cs	150	150
²³⁸ Pu	0,99	0,98
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	2,3	2,3
²⁴¹ Am	3,3	3,3
альфа-излучающие	6,6	6,6

Измерения активности трансурановых радионуклидов, выполненные на масс-спектрометре AGILENT 7500CS ICP-MS (табл. 3), подтверждают данные радиохимического анализа с хорошей сходимостью результатов (расхождение данных составило от 6,6 до 26, 7 %).

Таблица 3. Содержание радионуклидов в пробе грунта из объекта 2, измеренное на масс-спектрометре

Радионуклид	Удельная активность, кБк/кг	Относительное стандартное отклонение (RSD) $\pm \delta_{ст}$, %	Массовая доля изотопа, мкг/г
^{234}U	0,03085	11	$1,45 \cdot 10^{-4}$
^{235}U	0,00061	3	$8,31 \cdot 10^{-3}$
^{236}U	0,00230	3	$1,03 \cdot 10^{-3}$
^{238}U	0,00755	1	$6,57 \cdot 10^{-1}$
^{239}Pu	4,86023	2	2,29
^{240}Pu	6,90469	7	$8,91 \cdot 10^{-1}$

Объект 2/1. Бурт № 33 ПВЛРО "Старая стройбаза"

Объект 2/1 входит в массив захоронений РАО, образованных в 1986 - 1987 гг., под общим названием "Старая стройбаза" (35 траншей и 8 буртов). Исследуемый бурт представляет собой вытянутый с севера на юг холм, поросший редкой растительностью. Объект расположен приблизительно в 100 м от автодороги Чернобыль – Припять. Протяженность объекта составляет около 170 м. При поверхностной гамма-съемке обнаружено несколько пятен с максимальным уровнем МЭД 200 – 238 мкЗв/ч. Магнитометрические исследования металлических предметов не выявили. На радарограммах объекта в районе пикетов 62 – 69 (в центральной части объекта) обнаружен аномальный слой. В точках с повышенными значениями МЭД и в районе аномального слоя были пробурены разведочные скважины (9 шт.). Гамма-каротаж скважин показал, что практически вся радиоактивность содержится в верхнем слое грунта (до 1 м) и снижается до минимальных значений на глубине подошвы бурта. В районе аномального слоя повышения уровня гамма-излучения не наблюдалось, сам слой представляет собой кучу щебня. Лабораторный анализ пробы из скважины 75 (точка с максимальной МЭД на глубине 80 см) не выявил значимых уровней загрязнения (табл. 4).

Таблица 4. Результаты радиохимического анализа радионуклидов в пробе почвы, отобранной на глубине 0,8 м из скважины 75

Радионуклид	Удельная активность, кБк/кг	Относительная суммарная погрешность, $\pm \delta$, P = 0,95	Массовая доля изотопа (расчетное значение), мкг/г
$^{239+240}\text{Pu}$	34,57	14	-
^{238}Pu	14,6650	15	-
^{241}Pu	551,3625	14	-
^{241}Am	69,7518	12	-
^{234}U	0,1386	6	$6,043 \cdot 10^{-4}$
^{235}U	0,0024	11	$3,048 \cdot 10^{-2}$
^{238}U	0,0455	6	3,691

Результаты измерений активности радионуклидов объектов 2 и 2/1 показывают, что при одинаковом нуклидном составе активность грунта в пробах из бурта 33 существенно выше. Содержание ^{235}U практически одинаково и соответствует обогащению отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) 4-го блока [3]. Таким образом, радиоактивное загрязнение исследованных объектов обусловлено только аварийными выпадениями с учетом расположения: объект 2/1 находится на более мощном юго-западном следе, а объект 2 на менее интенсивном северном. Дополнительной активности, связанной с поступлением радиоактивных отходов, в эти объекты не обнаружено.

Объект 3. ПЗРО "3 очередь ЧАЭС"

Объект 3 принципиально отличается от предыдущих объектов. Он представляет собой специально созданную строительную конструкцию для захоронения РАО, но незаконченную к моменту аварии. Имеющиеся исторические сведения об использовании данного сооружения в 1986 г. позволяют предположить наличие делящихся материалов, которые могли поступать с РАО непосредственно из разрушенного 4-го блока в первый период ликвидации последствий аварии. К сожалению, точных сведений о радионуклидном составе и количествах активности захороненных РАО и проектно-конструкторской документации объекта не сохранилось. Известно, что хранилище состоит из семи каньонов. Продольные стены длиной от 90 до 140 м выполнены из сборного железобетона. Ширина

каждого каньона ≈ 6 м, высота стен ≈ 5 м, торцевые стены отсутствуют. Поверхностные размеры ПЗРО 50×170 м, оценочные размеры основного тела захоронения (в пределах строительных конструкций) 42×120 м ($25\,200$ м³). Все захоронение законсервировано в 1988 - 1989 гг. слоем глины и грунта.

Поверхностная гамма-съемка территории захоронения не обнаружила повышенных уровней гамма-излучения. При визуальном осмотре поверхности объекта выявлено несколько значительных суффозионных провалов консервирующего слоя. Измерения МЭД, выполненные в провалах и в поверхностных скважинах (на глубину консервирующего слоя), выявили рост уровней гамма-излучения с увеличением глубины.

Провалы были обследованы более подробно: выполнен ряд шурфов и поверхностных скважин. Полученные результаты и данные магнитометрии позволили уточнить расположение стен объекта, подтвердить наличие большого количества контейнеров с РАО и высокую неравномерность их распределения в объеме объекта. В одном из шурфов был найден мощный локальный источник излучения, находящийся в контейнере (МЭД $4,385 - 7,016$ мЗв/ч) (рис. 4).

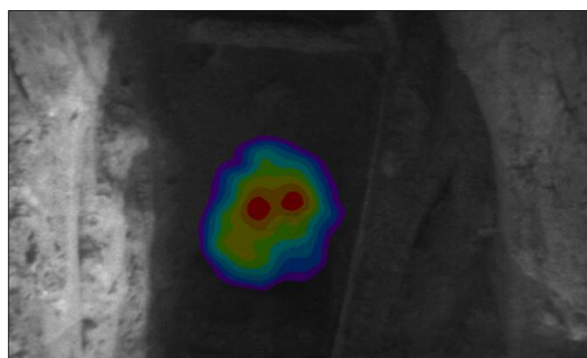
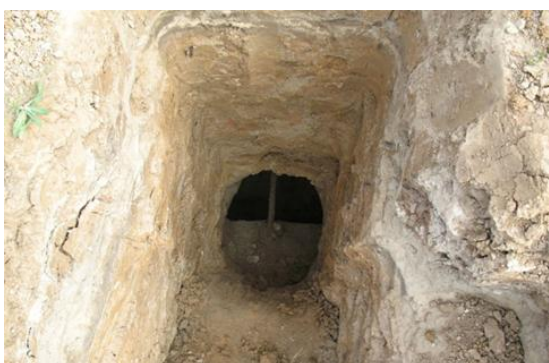


Рис. 4. Шурф у восточной стены (пикет 55) - виден металлический контейнер. Справа – снимок обнаруженного локального источника гамма-визором (Cartogam 50-EM71267).

Обнаруженные магнитные массы преимущественно расположены вдоль восточной стены объекта и в южной части хранилища (рис. 5).

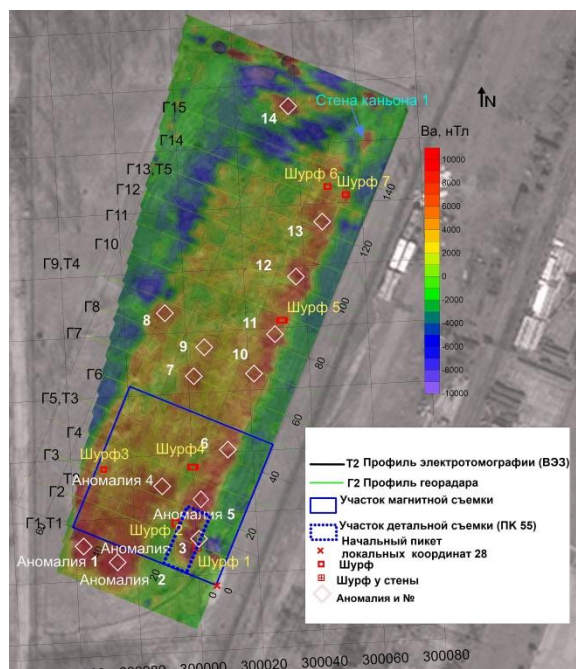


Рис. 5. На рисунке слева показано расположение ПЗРО "3 очередь ЧАЭС"; справа - картограмма обнаруженных магнитных аномалий. Г2, Т2 - профили радарографии и электротометрии; белый квадратик - участок магнитной аномалии, выбранный для дальнейших исследований.

Для подробных исследований было выбрано 14 наиболее интенсивных магнитных аномалий. В районе каждой аномалии было пробурено по пять разведочных скважин на глубину консервиру-

щего слоя, расположенных "конвертом", - центральная скважина в максимуме электромагнитной индукции, остальные на расстоянии 1 м по сторонам света (всего более 70). В каждой скважине был выполнен нейтронный и гамма-каротаж. По результатам исследований в поверхностных скважинах и с учетом данных магнитометрии, были выбраны точки для бурения шести глубоких скважин: скважина А3 - шурф с контейнером, максимальная мощность дозы гамма-излучения порядка 4,38 мЗв/ч; скважина А5 - магнитная аномалия 5, где также обнаружен контейнер; скважина А6 - аномалия 6; скважина А8 - аномалия 8; скважина А12 - аномалия 12; скважина А13 - аномалия 13 (см. рис.5)

Техническим заданием предусматривалось бурение скважин глубиной до 10 м, с отбором проб через каждые 20 см. Для выполнения измерений скважины оборудовались пластиковыми обсадными трубами с внешним диаметром 140 мм и внутренним диаметром 125 мм. Процесс бурения оказался весьма тяжелым из-за сложности среды (наличие хаотично расположенных металлических контейнеров, элементов железобетонных конструкций и пустот между элементами среды), поэтому фактическая глубина скважин оказалась существенно меньше.

Гамма-каротаж в поверхностных и в глубоких скважинах не выявил новых высокоактивных локальных источников (кроме обнаруженного ранее контейнера в скважине А3), которые могли бы представлять фрагменты активной зоны, содержащие делящиеся материалы. В скважинах А5, А6, А8, А12, А13 на глубине 2-3 м зафиксирован рост гамма-излучения и были найдены металлические контейнеры (рис. 6).

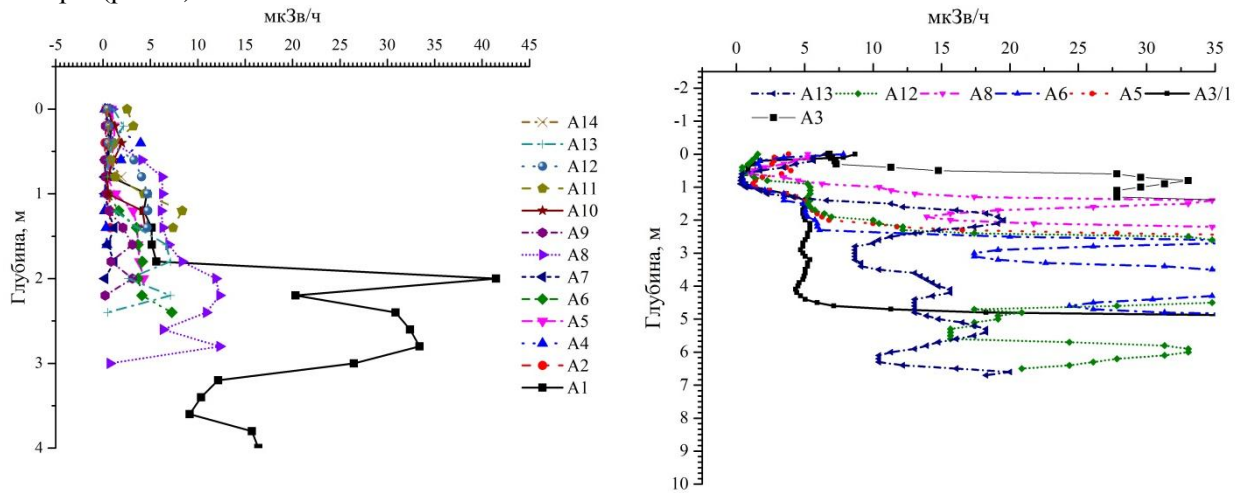
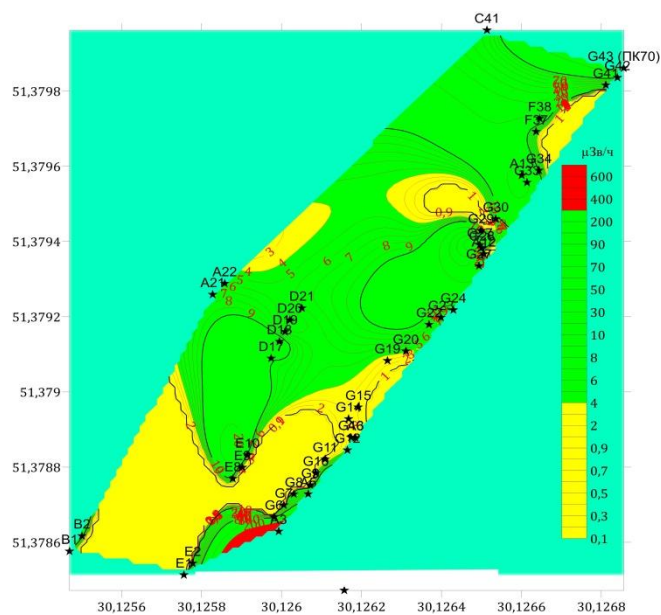


Рис. 6. Результаты гамма-каротажа поверхностных (слева) и глубоких (справа) скважин в районах магнитных аномалий.



В южной части ПЗРО, в районе аномалии А3, были проведены уточняющие измерения магнитной индукции от обнаруженной железобетонной стены и металлического контейнера с РАО. Полученные результаты были использованы для интерпретации магнитной съемки всего объекта. С учетом полученных данных на участках, где выявлены наиболее значительные скопления контейнеров (восточный каньон, аномалия А7), для поиска делящихся материалов было пробурено еще 40 поверхностных и 2 глубоких скважин (рис. 7). К сожалению, значимых объектов обнаружено не было.

Рис. 7. Размещение дополнительных скважин и картограмма МЭД.

В качестве дополнительного метода поиска ядерных материалов был использован специально сконструированный детектор нейтронных потоков - Chernobyl Radiation Assay Detector (CRAD) раз-

работки Los Alamos National Laboratory (LANL). Детектором нейтронов являются две трубки диаметром 1 дюйм и длиной 12 дюймов, заполненные ³He под давлением 4 атм. Прибор был отградуирован и поверен Харьковским метрологическим институтом.

Результаты измерений потоков нейтронов подтвердили присутствие в захоронении делящихся изотопов (рис. 8), однако достаточно интенсивный источник был обнаружен только в скважине А3 (рис. 9). Для совершенствования методики поисков выполнено бурение дополнительных поверхностных скважин на данном участке. Результаты нейтронного и гамма-каротажа выполненных скважин показали, что на глубине около 2 м (ниже консервационного слоя) уверенно регистрируется излучение источников излучения от основного тела захоронения, и подтвердили возможность использования разработанного прибора для поисков делящихся материалов, в том числе и с помощью поверхностных скважин.

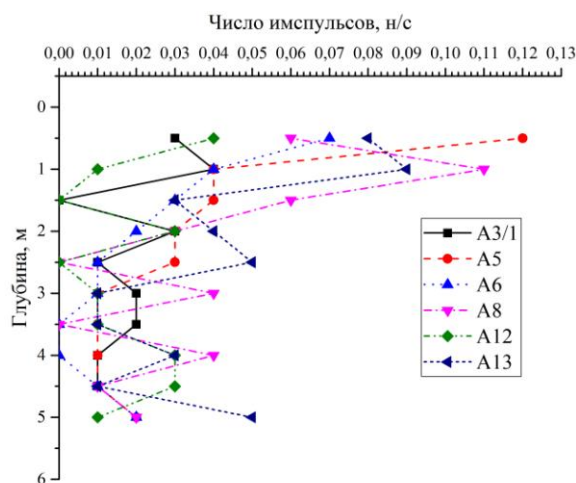


Рис. 8. Нейтронный поток в глубоких скважинах (распределение по глубине).

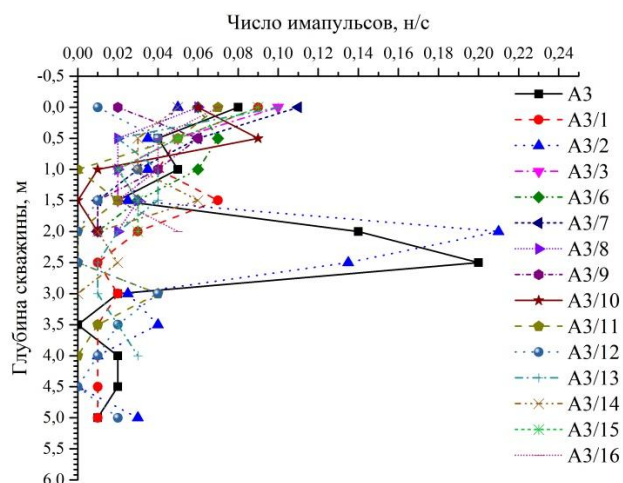


Рис. 9. Нейтронные потоки в скважинах области А3 (дополнительное бурение).

В ходе бурения из глубоких скважин было отобрано 62 пробы грунта и выполнена гамма-спектрометрия образцов. Среднее содержание гамма-излучающих изотопов составило ²⁴¹Am 362,97 кБк/кг, ¹³⁷Cs 8395,3 кБк/кг (табл. 5).

Таблица 5. Средняя удельная активность гамма-излучающих радионуклидов в пробах, отобранных из глубоких скважин

Радионуклид, кБк/кг	А3	А5	А6	А8	А12	А13
¹³⁷ Cs	11085,26	380,0633	11,64	316,7975	508,611	38069,33
²⁴¹ Am	526,8492	15,59	1,865	5,21375	41,397	1586,91

По результатам гамма-спектрометрии были отобраны образцы для радиохимического и масс-спектрометрического анализа. Радиохимический и масс-спектрометрический анализ выполнен в 17 наиболее активных пробах. Были определены удельные активности следующих изотопов: ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am; ²³⁴U, ²³⁵U, ²³⁶U, ²³⁸U, ²³⁸Pu, ^{239,240}Pu, ²³⁸Pu (табл. 6).

Таблица 6. Удельная активность трансурановых элементов в пробах из глубоких скважин (спектрометрия после разделения урана и плутония на хроматографических смолах)

Активность	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	Масса ²³⁸ Pu, мкг/г
Максимальная удельная активность, кБк/кг	7,86	0,18	0,87	3,03	427,43	968,53	0,000676
Минимальная удельная активность, кБк/кг	0,011	0,000793	<0,0001	0,012	0,03	0,06	4,84 · 10 ⁻⁸
Среднее значение, кБк/кг	2,65	0,054	0,30	0,92	152,45	351,64	0,000241
∑ _{нукл.} кБк, макс	1,56 · 10 ⁸	3,57 · 10 ⁶	1,73 · 10 ⁷	6,01 · 10 ⁷	8,48 · 10 ⁹	1,92 · 10 ¹⁰	1,34 · 10 ⁴
∑ _{нукл.} кБк, мин	2,18 · 10 ⁵	1,57 · 10 ⁴	-	2,38 · 10 ⁵	5,95 · 10 ⁵	1,19 · 10 ⁶	9,60 · 10 ⁻¹
∑ _{нукл.} кБк, ср	5,26 · 10 ⁷	1,07 · 10 ⁶	5,95 · 10 ⁶	1,82 · 10 ⁷	3,02 · 10 ⁹	6,97 · 10 ⁹	4,78 · 10 ³

Удельная активность радионуклидов, по результатам наших измерений, превышает результаты, полученные ранее [4], на 1–2 порядка величины. Наша оценка суммарной активности РАО, содержащихся в хранилище, без учета ^{90}Sr составила $3,89 \cdot 10^{11}$ кБк, что также на порядок величины выше имеющихся оценок (табл. 7).

Таблица 7. Оценка активности некоторых радионуклидов по данным НТЦ "КОРО" и Чернобыльского центра (ЧЦ). Объем РАО принят по данным инвентаризации – 42000 т [4]

Нуклид	Удельная активность, кБк/кг		Суммарная активность, кБк	
	2008 г. ("КОРО")	2016 г. (ЧЦ)	2008 г. ("КОРО")	2016 г. (ЧЦ)
^{137}Cs	677	8395,3	$2,84 \cdot 10^{10}$	$3,53 \cdot 10^{11}$
^{238}Pu	4,42	152,45	$1,85 \cdot 10^8$	$6,40 \cdot 10^9$
$^{239+240}\text{Pu}$	10,86	351,64	$4,56 \cdot 10^8$	$1,48 \cdot 10^{10}$
^{241}Am	16,4	362,97	$6,87 \cdot 10^8$	$1,52 \cdot 10^{10}$
^{234}U		2,65		$1,11 \cdot 10^8$
^{235}U		0,054		$2,27 \cdot 10^6$
^{236}U		0,3		$1,26 \cdot 10^7$
^{238}U		0,92		$3,86 \cdot 10^7$
^{238}Pu , массовая доля		0,000241мкГ		10,12 кг

Объект 1. ПЗРО "Подлесный"

Объект представляет собой специально сконструированное сооружение для захоронения аварийных РАО, образующихся в ходе работ по ликвидации последствий аварии, с МЭД до 250 Р/ч. Эксплуатируемая часть сооружения состоит из двух модулей (А1 и Б1), стены которых выполнены из армоблоков с заливкой смесью бетона марки М-200, усиленных фундаментными блоками (ФБС-6) общей толщиной $2,3 \div 2,4$ м и основанием из слоя монолитного бетона с битумной гидроизоляцией толщиной 160 мм.



Рис. 10. РАО на поверхности модуля Б-1.

Захоронение отходов в хранилище прекращено в 1987 г. В 1990 г. выполнена консервация модулей путем заливки бетонной смесью. В 2008 г. сооружение было частично реконструировано, с устройством кровли из штамп-настила на металлическом каркасе.

На объекте был выполнен сокращенный этап неинвазивных исследований: визуальное обследование, поверхностная гамма-съемка, измерение нейтронных потоков с помощью переносных приборов и пузырьковых детекторов. Кроме того, был произведен отбор проб из

контейнера в модуле Б1, находящегося на поверхности бетонной заливки (рис. 10). Обнаруженное на поверхности модуля Б1 максимальное значение МЭД составило 24 300 мкЗв/ч. Измеренная МЭД внутри одного из контейнеров составила 41 540 мкЗв/ч. Пузырьковые детекторы нейтронов фирмы ВТИ (BD-PND Bubble Dosimeter) были помещены в двух точках, где были обнаружены максимальные значения плотности потока альфа-частиц. После выдержки в течение 20 ч оба детектора зафиксировали наличие потока нейтронов: детектор № 14119215 - 1,83 мкЗв/ч; детектор № 14119129 - 1, 24 мкЗв/ч (средняя энергия измеряемых нейтронов составляла 4,15 МэВ).

Радионуклидный состав пробы из контейнера оказался сопоставим с нуклидным составом лаваобразных топливосодержащих материалов (ЛТСМ) объекта "Укрытие" (табл. 8).

Массовая концентрация урана в исследованном образце составила **0,0397 г/г**, или **4 %**, по урану на 1 г образца. Данное значение сопоставимо с уровнями концентрации урана в ЛТСМ объекта «Укрытие» [3] - угольно-черная керамика содержит ($5,5 \pm 1,5$) %, шоколадно-коричневая – (10 ± 2) %, керамика синего цвета - ($5,7 \pm 0,2$) %, коричневого - 7,6 %, желтого - 7 %.

Таблица 8. Радионуклидный состав образца из контейнера ПЗРО «Подлесный»

Радионуклид	Удельная активность (А, Бк/г)	$\pm U(A)$
^{137}Cs	$5,24 \cdot 10^6$	$3,86 \cdot 10^5$
^{90}Sr	$3,08 \cdot 10^6$	$2,40 \cdot 10^4$
^{241}Pu	$1,50 \cdot 10^6$	$1,13 \cdot 10^5$
^{241}Am (спектрометрия)	$2,52 \cdot 10^5$	$1,90 \cdot 10^4$
^{241}Am (радиохимия)	$2,12 \cdot 10^5$	$1,00 \cdot 10^4$
$^{239+240}\text{Pu}$	$1,48 \cdot 10^5$	$2,27 \cdot 10^4$
^{238}Pu	$5,71 \cdot 10^4$	$8,78 \cdot 10^3$
^{154}Eu	$2,25 \cdot 10^4$	$1,39 \cdot 10^3$
^{155}Eu	$3,71 \cdot 10^3$	$1,91 \cdot 10^3$
$^{243+244}\text{Cm}$	$2,90 \cdot 10^3$	$2,07 \cdot 10^2$
^{60}Co	$2,02 \cdot 10^3$	$1,58 \cdot 10^2$
^{234}U	$1,60 \cdot 10^3$	656,5
^{238}U	$4,88 \cdot 10^2$	199,6
^{242}Cm	$3,64 \cdot 10^2$	$6,08 \cdot 10^1$
^{236}U	$7,67 \cdot 10^1$	31,6
^{235}U	$4,23 \cdot 10^1$	17,5

$U(A)$ - расширенная неопределенность (expanded uncertainty) для уровня доверительной вероятности 95 %.

Выводы

1. Оцененное содержание радиоактивных материалов в обследованных поверхностных захоронениях РАО, являющихся типичными для ЧЗО, весьма невелико. Основная часть активности содержится в поверхностном слое грунта. Делящихся материалов не обнаружено. Такие захоронения должны быть обследованы и могут быть отнесены к захоронениям очень низких (ОНАО) или низких (НАО) отходов согласно классификации, предполагаемой к введению в Украине, что позволит исключить их перезахоронение.

2. Оценка содержания радиоактивных материалов в ПЗРО "3 очередь ЧАЭС", по полученным результатам экспериментальных исследований, составляет $3,89 \cdot 10^{11}$ кБк (без учета ^{90}Sr). В некоторых контейнерах обнаружены топливные материалы, содержащие долгоживущие радионуклиды урана, плутония, америция в концентрациях, соответствующих ОЯТ 4-го энергоблока. Такие отходы должны быть отнесены к высокоактивным (ВАО). Следует отметить, что техническое состояние инженерных барьеров хранилища неудовлетворительное, контур стеновых ограждений не замкнут. Конструкция хранилища не отвечает современным требованиям безопасности. Необходимо проведение дообследования хранилища, выполнение комплексный анализ безопасности и разработать специальную программу по его перезахоронению.

3. Проведенные предварительные исследования содержания делящихся материалов в ПЗРО "Подлесный" подтвердили наличие в объекте послеаварийного ОЯТ. Такие отходы (ВАО) находятся непосредственно на поверхности консервирующего слоя бетона в модуле Б-1. Содержание урана в отобранном образце составляет 3,9 %, что сопоставимо с ЛТСМ объекта «Укрытие» и по уровню удельной активности радионуклидов относит данный материал к ВАО. Необходимо проведение всестороннего обследования ПЗРО, выполнение анализа безопасности хранилища с разработкой мероприятий по приведению его в соответствие с требованиями современных норм.

4. Разработанный в ходе выполнения работ комплекс методических рекомендаций к проведению обследования объектов захоронения РАО в ЧЗО позволяет обеспечить получение необходимой информации (данных) для проведения анализа безопасности в соответствии с современными международными требованиями и может быть использован в дальнейшем.

Авторы выражают свою признательность National Nuclear Security Administration DOE US и участникам-членам технической группы проекта Eric Howden, Mike Browne, John Weathersby, Phil Winston, Adrienne Lafleur, А. Е. Новикову, Е. А. Лебедеву за всестороннюю помощь и поддержку при выполнении проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарьков М. Д., Глыгало В. Н., Осколков Б. Я. и др. Итоговый отчет по проекту «Оценка бесхозных делящихся материалов в Чернобыле». Рамочный генеральный контракт (ВМС) № 00126077, вып. № СС-01-2 от 18.09.2013. - Славутич: Чернобыльский центр, 2014.
2. Уровни ограниченного освобождения для площадки ЧАЭС и материалов от регулирующего контроля (радиационно-гигиенические критерии конечного состояния промышленной площадки ЧАЭС. Гигиенические нормативы / ГСП ЧАЭС, ИРЗ АТН Украины. - К.: ДАЗВ, ЧАЭС, 2008.
3. Арутюнян Р. В., Большов Л. А., Боровой А. А. и др. Ядерное топливо в объекте «Укрытие» Чернобыльской АЭС: монография. – М.: Наука, 2010. - 240 с.
4. Проведение переоценки безопасности хранилищ ПЗРО "III очередь ЧАЭС" с использованием информации, полученной на протяжении времени их эксплуатации: (Аннотационный отчет о НИР по договору № 15-08). - Желтые воды: НТЦ КОРО, 2008.

**М. Д. Бондарков, О. М. Максименко, Б. Я. Осколков¹,
В. М. Антропов, В. П. Мельниченко, О. Р. Третяк²**

¹ Державна науково-дослідна установа «Чернобыльський центр з проблем ядерної безпеки, радіоактивних відходів та радіоекології», Київська область, Славутич, вул. 77-ї Гвардійської дивізії, 11, 07101, Україна

² Державне спеціалізоване підприємство «Центральне підприємство з поводження з радіоактивними відходами», Чорнобиль, вул. Кірова, 52, 07270, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ДІЛЯТЬСЯ, В ОБ'ЄКТАХ ЗАХОРОНЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ У ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

Представлено результати обстеження та пошуку матеріалів, що діляться, у ряді сховищ радіоактивних відходів у чорнобильській зоні відчуження. Експериментально визначено вміст радіоактивних ізотопів у сховищах радіоактивних відходів в окремих ПТЛРВ "Стара будбаза", ПЗРВ "3 черга ЧАЕС" та "Підлісний". Наведено оцінки стану сховищ та пропозиції за методикою таких обстежень.

Ключові слова: чорнобильська зона відчуження, радіоактивні відходи, захоронення радіоактивних відходів.

**M. D. Bondarkov, A. M. Maksimenko, B. J. Oskolkov¹,
V. M. Antropov, V. P. Melnichenko, O. R. Tretyak²**

¹ State research institution "Chernobyl center for nuclear safety, radioactive waste and radioecology", Kyiv region, Slavutych, 77th Guards division str, 11, 07101, Ukraine

² The State specialized enterprise "Central enterprise for radioactive waste management", Chernobyl, Kirova str, 52, 07270, Ukraine

INVESTIGATIONS OF FISSILE MATERIALS IN OBJECTS OF RADIOACTIVE WASTE'S DISPOSALS IN CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

The results of a survey and search for fissile materials in a number of radioactive waste burials in the Chernobyl exclusion zone are presented. The content of radioactive isotopes in buried radioactive wastes in separate PWLD "Staraya stroybaza", PZRO "3rd stage of the Chernobyl NPP" and "Podlesny" has been determined experimentally. The state of burials and suggestions on the method of such surveys are given.

Keywords: Chernobyl exclusion zone, radioactive waste, radioactive waste's disposal.

REFERENCES

1. Bondarkov M. D., Glygalo V. N., Oskolkov B. Ya. et al. Final report on the project "Assessment of the orphan nuclear material at Chernobyl". The framework of the General contract (BMC) No. 00126077, vol. No. SS-01-2, dated 18.09.2013. - Slavutich: Chernobyl center, 2014 (Rus).

2. Levels of a limited release for the ChNPP site and materials from regulatory control. Radiation-hygienic criteria for the end state of the industrial site of the ChNPP. Hygienic standards. SSE ChNPP, IRS NAS of Ukraine. - Kyiv: State Agency of Ukraine on Exclusion Zone Management, Chernobyl, 2008. (Ukr)

3. Arutyunyan R. V., Bolshov L. A., Borovoi A. A. et al. Nuclear fuel in the "Shelter" object encasement of the Chernobyl NPP. – Moskva: Nauka, 2010. - 240 p. (Rus)

4. Conduct safety reassessment of repositories PZRO "III stage of ChNPP" using information obtained during the time of their operation: (Annotated a report on the research work under contract No. 15-08). - Zheltye Wody: STC KORU, 2008. (Rus)

Надійшла 03.05.2017
Received 03.05.2017