

**НОВЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА  
В ПОМЕЩЕНИИ 305/2 ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»**

© 2010 г. Э. М. Пазухин, А. С. Лагуненко, С. А. Довыдьков

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль*

С учетом новых расчетных данных и на основе анализа событий и процессов, происходивших в помещении 305/2 на стадии образования и растекания чернобыльских лав, проведена оценка распределения ядерного топлива в этом помещении. Оценка произведена для семи отдельных характерных зон. При оценке учитывались как данные анализов проб, отобранных из помещения 305/2, так и результаты анализов проб, извлеченных из близлежащих помещений. Общее количество облученного ядерного топлива в помещении 305/2, согласно проведенному анализу, составляет по урану  $80 \pm 30$  т, что вполне сопоставимо с результатами ранее проведенных исследований.

*Ключевые слова:* лава, топливосодержащие материалы, оценка, скопление, уран, ядерное топливо.

**Введение**

Во время активной стадии аварии нижняя плита биологической защиты (или опора реактора, схема «ОР») из-за ударного воздействия опустилась приблизительно на 4 м, в результате чего подапаратное помещение 305/2 оказалось объединенным с реакторным пространством (помещение 504/2). Это объединенное пространство далее по тексту условно будет называться «помещение 305/2».

Первая оценка количества топлива, находящегося в помещении 305/2, была проведена на основании тепловых измерений, выполненных в 1989 – 1990 гг. [1]. В соответствии с проведенными тепловыми расчетами суммарная масса топлива, находящегося в этом объеме, была оценена в  $75 \pm 25$  т по урану.

Результаты визуальных обследований помещения, выполненных в 1990 – 1993 гг., а также данные по изучению физико-химических и радиохимических свойств извлеченных из него топливосодержащих материалов (ТСМ) дали основание авторам работ [2, 3] оценить количество отработанного ядерного топлива (ОЯТ), находящегося в помещении 305/2, в 8,5 – 13 т по урану.

Первая подробная версия распределения ОЯТ в помещении 305/2 была выполнена в 1997 г. Она основывалась, в основном, на предложенной авторами работы [4] модели помещения и распределения ОЯТ в нем, а также на данных визуальных обследований и усредненных характеристиках ТСМ, присутствие которых предполагалось в этом помещении. Результаты оценки: в помещении 305/2 находится не менее 60 т топлива по урану.

Оценка суммарного количества топлива, приведенная позднее в работе [5] (1998 г.), фактически совпадает с данными, представленными в работе [1].

Следующая версия распределения топлива в помещении 305/2 (1999 г.) основывалась на сценарии образования лавообразных ТСМ (ЛТСМ), представленном в работе [6] и подробном анализе проб ТСМ, отобранных из этого помещения. Она изложена в работе [7]. Для оценки количества топлива в помещении 305/2 был использован метод, который условно можно назвать визуально-аналитическим. Он основан не только на обобщении прямых визуальных наблюдений многих групп исследователей, но и на сопоставлении этих наблюдений с аналитическими данными. С такими, например, как результаты элементного и радиохимического анализа, измерения мощности дозы гамма-излучения, а также с результатами фото- и видеосъемок [7].

Результаты оценки: общий объем ТСМ составляет  $380 - 580 \text{ м}^3$ , а количество топлива, находящегося в ТСМ, –  $(85 \pm 25)$  т. Следует упомянуть, что в работе [7] для описания ТСМ помещения 305/2 его объем был условно разбит на семь участков (рис. 1).

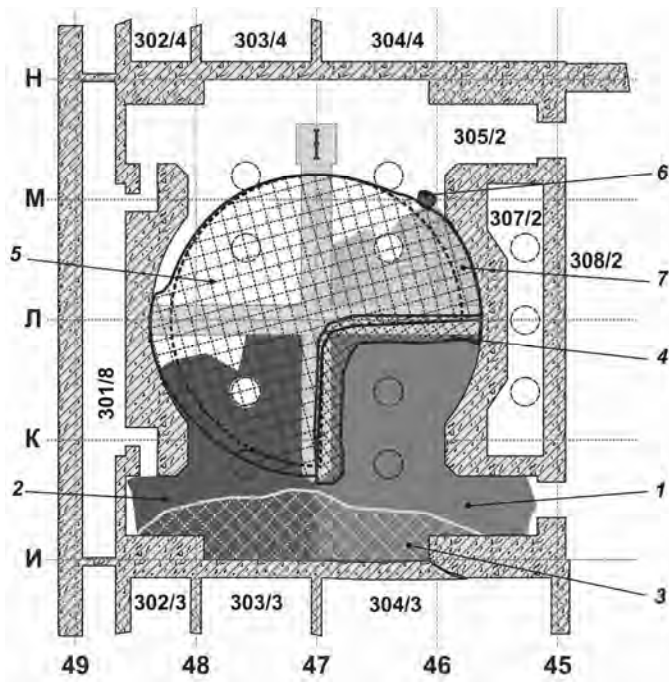


Рис. 1. Схема расположения скоплений ТСМ в помещении 305/2.

Необходимо отметить, что эта версия распределения топлива до некоторой степени не согласуется с данными, представленными в работе [8], а именно: согласно оценкам работы [7] в юго-восточной части помещения 305/2 (участок 1, рис. 1) основная масса ТСМ, представленная черной лавой, содержит  $20 \pm 3$  т урана. В то же время в юго-западной части этого помещения (участок 2, рис. 1) основная масса ТСМ, представленная коричневой лавой, содержит  $33 \pm 8$  т урана.

Таким образом, по оценкам работы [7] в юго-западной части помещения содержится топлива больше, чем в юго-восточной, а тепловые измерения, проведенные в 1988 – 1989 гг. [8], как раз указывают на обратное, т.е. основная масса ЛТСМ должна находиться именно в юго-восточной части.

Из всего вышеизложенного следует очевидный вывод о том, что данные о распределении ТСМ в помещении 305/2, приведенные в работе [7], требуют уточнения.

В 2002 – 2009 гг. был проведен ряд теоретических и расчетных работ, результаты которых позволили внести коррективы в сценарий образования чернобыльских лав. В частности, было получено более полное представление о механизме образования ЛТСМ и обоснована возможность образования зон с высоким содержанием урана в массиве подреакторной плиты. Кроме того, были подвергнуты дополнительному изучению и имеющиеся фото- и видеоматериалы. Все это дало возможность уточнить распределение ОЯТ в помещении 305/2 [9 - 14]. Необходимо отметить, что сценарий, представленный в работе [6], не предполагал образования зон с высоким содержанием урана в помещении 305/2.

### Оценка количества топлива в помещении 305/2

Как уже указывалось, новое представление о распределении топлива в помещении 305/2 базируется на расчетных данных и сравнительном анализе новой и имевшейся ранее информации.

Поэтому для оценки количества топлива воспользуемся логикой работы [7], в которой ТСМ помещения 305/2 разбиты на отдельные скопления (см. рис. 1).

Скопление 1 (преимущественно черные ЛТСМ) и скопление 2 (преимущественно коричневые ЛТСМ), представленные на рис. 1, фактически являются частями единого массива ЛТСМ, расположенного на полу помещения 305/2 (рис. 2).



Рис. 2. Сечение массива ЛТСМ в помещении 305/2 по ряду К<sub>3000</sub>.

Данные, полученные при исследовании кернового материала, извлеченного из скважин, пробуренных в районе отметки +9.000, указывают на то, что в массиве ЛТСМ повсеместно присутствуют непереплавлен-

ные элементы – фрагменты активной зоны (ФАЗ), а также другие конструкционные элементы реактора и строительных конструкций [15].

Существует целый ряд косвенных доказательств того, что в юго-восточном квадранте присутствуют локальные зоны с высоким содержанием топлива, т.е. такие зоны, концентрация урана в которых значительно превышает его среднюю концентрацию в этом массиве ЛТСМ (рис. 3) [16].

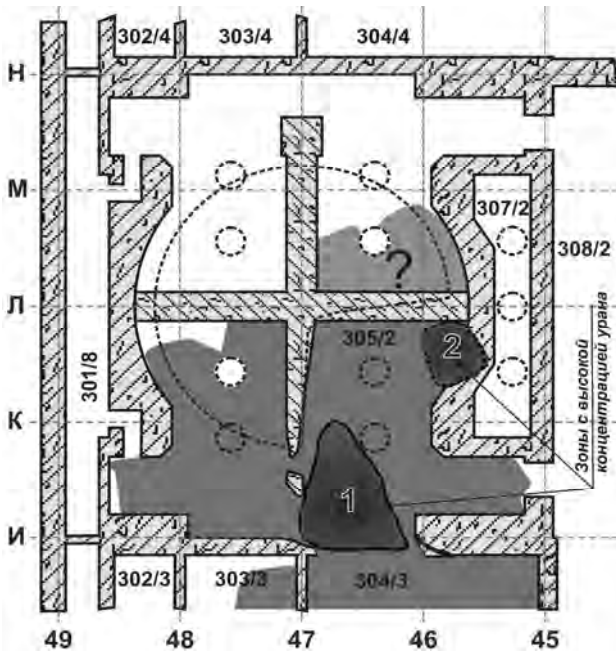


Рис. 3. Массив ЛТСМ пом. 305/2. Расположение зон с высокой концентрацией урана.

ские параметры этой зоны могут быть очень грубо определены на основе результатов буровых работ, результатов тепловых измерений и анализа процесса протекания активной стадии аварии. По аналогии с зоной 1 можно предположить, что максимальная концентрация урана в зоне может достигать 30 % (мас.).

Для определения границ распространения ЛТСМ, содержащихся в помещении 305/2,

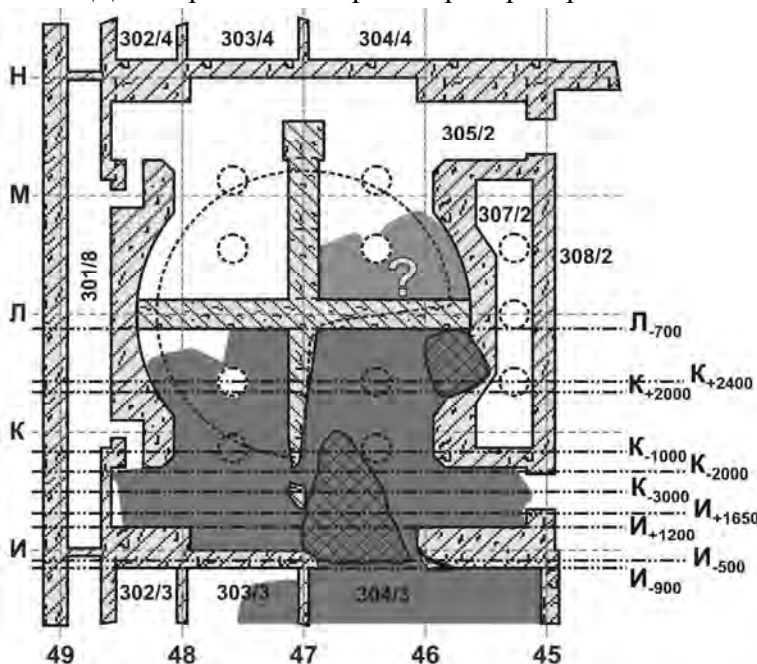


Рис. 4. Массив ЛТСМ помещения 305/2. ЛТСМ на отметке +9.700.

Первая зона (см. рис. 3, поз. 1) расположена в массиве подреакторной плиты непосредственно у пролома в помещение 304/3. Геометрия этой зоны была определена на основе результатов буровых работ и скважинных измерений [9]. Массовые характеристики зоны получены в результате проведения модельных нейтронных расчетов и сравнения их с результатами инструментальных измерений. При консервативном подходе можно предположить, что максимальная концентрация урана в зоне может достигать 50 % (мас.), а основная масса топлива содержится в нижней части зоны над слоем металла [9, 10, 11].

Вторая зона (см. рис. 3, поз. 2), предположительно, расположена в массиве подреакторной плиты в непосредственной близости у прожога в направлении помещения 307/2 и в самом прожоге. Геометрические параметры этой зоны могут быть очень грубо определены на основе результатов буровых работ, результатов тепловых измерений и анализа процесса протекания активной стадии аварии. По аналогии с зоной 1 можно предположить, что максимальная концентрация урана в зоне может достигать 30 % (мас.).

Для определения границ распространения ЛТСМ, содержащихся в помещении 305/2, помещение было разбито несколькими характерными сечениями. Координаты сечений выбирались по принципу информативности (пробуренные скважины, отобранные пробы, скважинные измерения) (рис. 4 и 5).

Такая разбивка дала возможность оценить геометрические параметры массива ЛТСМ: суммарный объем - 230 – 280 м<sup>3</sup>, площадь на отметке +9.700 – 140 – 180 м<sup>2</sup>.

С учетом ошибок определения максимальный объем скопления 1 составляет 180 м<sup>3</sup>, минимальный – 150 м<sup>3</sup>, площадь растекания лавы на отметке +9.700 – от 80 до 100 м<sup>2</sup>. Объем скопления 2 составляет 80 - 100 м<sup>3</sup>, площадь растекания лавы на отметке +9.700

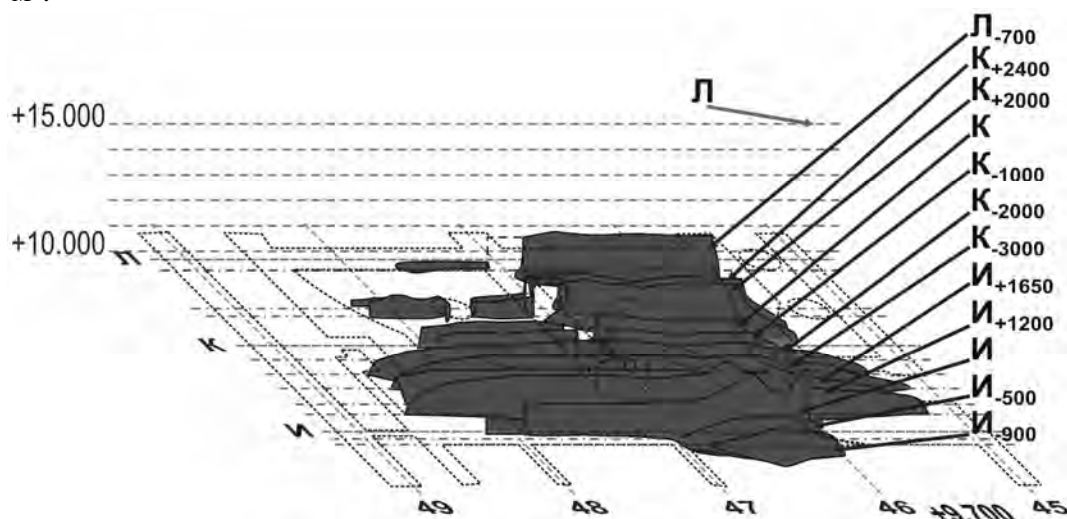
60 - 80 м<sup>2</sup>.

Рис. 5. Помещение 305/2, ЛТСМ. Расположение сечений на отметке +9.700.

Необходимо отметить, что объема информации, полученного с границ массива ЛТСМ, явно недостаточно для оценки количества топлива, заключенного в нем.

Дополнительная информация может быть получена двумя способами: либо методом рассмотрения данных о ТСМ, расположенных в помещениях, находившихся на путях распространения лавы во время активной стадии аварии, либо с использованием результатов, полученных при моделировании.

Первый метод был использован при оценке количества топлива, содержащегося в основном объеме массива ЛТСМ, второй – для характеристики зон с высокой концентрацией урана.

**Скопление 1** (см. рис. 1, поз. 1). Восточная часть массива ЛТСМ, находящегося на полу южной части помещения 305/2. Это - место образования основной массы ЛТСМ. В этой части находился и расплавился в процессе активной стадии аварии юго-восточный сектор схемы «ОР». К этому же скоплению следует отнести и ТСМ, находящиеся в 3-м и 4-м паросбросных клапанах (ПСК) юго-восточной части помещения 305/2 (отметки +6.600 - + 9.700). Границы участка - железобетонный крест и стены помещения 305/2. Координаты: 45/47, И/Л, отметки +8.400 (+6.600, ПСК) – +11.000.

ЛТСМ на этом участке скрыты под слоем бетона толщиной 0,3 – 0,5 м и завалом, расположенным вдоль южной стены помещения. Бетон подреакторной плиты под слоем лавы, значительная часть железобетонного креста вдоль оси 47, часть основания полукруглой стены разрушены под влиянием термического воздействия, и их компоненты вошли в состав лавы.

Эта часть массива ЛТСМ содержит, в основном, черные лавы. В массиве ЛТСМ повсеместно присутствуют непереплавленные компоненты: фрагменты активной зоны, конструкционные элементы реактора и части строительных конструкций. Основная часть непереплавленных элементов находится ниже отметки +9.700.

Скопление содержит одну зону с высокой концентрацией урана (30 – 50 %) в квадранте 46/47, И/К и, предположительно, другую - в квадранте 45/46, К/Л. На дне этих зон (отметка +8.400) находится слой металла (рис. 6).

Именно из этой области во время активной стадии аварии вытекали лавы, сформировавшие впоследствии большой горизонтальный поток (начало – помещение 304/3) и малый вертикальный - помещение 210/6 парораспределительного коридора (ПРК).

Оценка минимального количества топлива в скоплении была проведена на основании следующих данных:

объем всего скопления 150 м<sup>3</sup>;

объем зоны 1 с приграничной областью  $17 \text{ м}^3$  (см. рис. 3 и 4);

зона 2 отсутствует;

основная масса ЛТСМ сформирована ЛТСМ, идентичными по составу ЛТСМ помещения 304/3. Среднее содержание урана в ЛТСМ помещения 304/3 – 4,4 %, средняя плотность ЛТСМ –  $2,4 \text{ г/см}^3$  (без учета пористости и наличия трещин) [6];

в зоне 1 находится скопление ТСМ с максимальной концентрацией урана – 30 %, концентрация урана в границах зоны 1 линейно убывает по высоте до 5 % [10]. Согласно расчетам, зона 1 содержит 10 т урана [10].

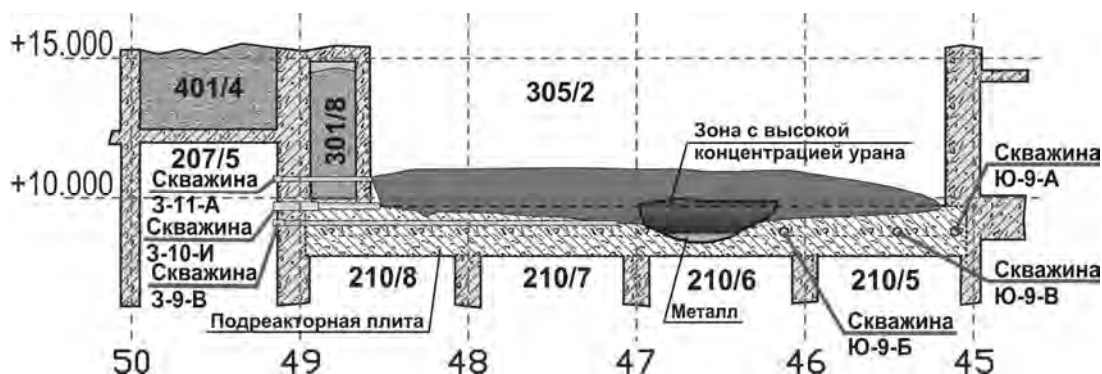


Рис. 6. Сечение массива ЛТСМ по ряду И<sub>+1650</sub>.

Таким образом, скопление 1 содержит 14 т ЛТСМ с концентрацией урана 4,4 % и 10 т урана в зоне 1, т.е. минимальное количество топлива в скоплении – 24 т.

Оценка максимального количества топлива в скоплении была проведена на основании следующих данных:

объем всего скопления  $180 \text{ м}^3$ ;

объем зоны 1 с приграничной областью  $19 \text{ м}^3$ ;

объем зоны 2 с приграничной областью  $9 \text{ м}^3$ ;

основная масса ЛТСМ сформирована ЛТСМ, идентичными по составу ЛТСМ помещения 210/6. Среднее содержание урана в ЛТСМ помещения 210/6 – 6,1 %, средняя плотность ЛТСМ –  $2,7 \text{ г/см}^3$  [17];

зона 1 содержит 19 т урана. Массовые характеристики скопления получены в результате проведения модельных нейтронных расчетов, имитирующих аномальное событие лета 1990 г. [11];

в зоне 2 находится скопление ТСМ с максимальной концентрацией урана – 30 %, концентрация урана в границах зоны 2 линейно убывает по высоте и содержит 4 т урана<sup>1</sup>.

Таким образом, скопление 1 содержит 25 т ЛТСМ с концентрацией урана 6,1 %, 19 т урана в зоне 1 и 4 т урана в зоне 2. Т.е., максимальное количество топлива в скоплении может достигать - 48 т. Отсюда следует, что количество топлива в скоплении 1 составляет  $36 \pm 12$  т топлива.

**Скопление 2** (см. рис. 1, поз. 2). Западная часть массива ЛТСМ, находящегося на полу южной части помещения 305/2. Место образования коричневых ЛТСМ. Именно из этой области во время активной стадии аварии вытекали лавы, сформировавшие впоследствии большой вертикальный поток (помещение 210/7 ПРК, помещения 1-го и 2-го этажей бассейна-барботера). К этому же скоплению следует отнести и ТСМ, находящиеся в 4-м ПСК юго-западной части помещения 305/2 (отметки +6.800 + 9.700). Границы участка - железобетонный крест, стены помещения 305/2. Координаты: 47/49-2000, И/Л, отметки +9.000 (+6.800, ПСК) – +11.000. ТСМ на этом участке находятся под схемой "ОР" и завалом, расположен-

<sup>1</sup> Оснований для заключения о возможности существования в этой зоне ТСМ с более высокой концентрацией урана не имеется.

ным вдоль южной стены помещения. Слой бетона 1986 г. над поверхностью ЛТСМ составляет 0,5 – 3 м.

Бетон подреакторной плиты разрушен под влиянием термического воздействия. Максимальная глубина прожога (отметка +9.000) наблюдается на оси 47 в рядах И<sub>+1500</sub> – К<sub>-1000</sub>. Это скопление содержит, в основном, коричневые лавы. В то же время в северо-восточной части скопления вдоль железобетонного креста (ось 47) присутствуют черные лавы. Источник их поступления, очевидно, находился в юго-восточном квадранте помещения 305/2. Черные лавы могли также поступать во время активной стадии аварии и через предполагаемый сквозной прожог центральной части схемы «ОР».

В массиве ЛТСМ находятся непереплавленные компоненты: ФАЗ, конструкционные элементы реактора и части строительных конструкций, которые присутствуют также и в 4-м ПСК.

Оценка минимального количества топлива в скоплении была проведена на основании следующих данных:

объем всего скопления 80 м<sup>3</sup>;

основная масса ЛТСМ сформирована ЛТСМ, идентичными по составу ЛТСМ помещения 210/7. Основная масса в помещении 210/7 представлена коричневыми лавами. Плотность коричневых ЛТСМ в ПРК (3,00 ± 0,13) г/см<sup>3</sup> [17]. Среднее содержание урана в ЛТСМ помещения 210/7 8 % (эксперимент) и 10 % (расчет);

плотность ЛТСМ 2,87 г/см<sup>3</sup>;

содержание урана 8 %.

Таким образом, минимальное количество топлива в скоплении 2 ~ 18 т.

Оценка максимального количества топлива в скоплении была проведена на основании следующих данных:

объем всего скопления 100 м<sup>3</sup>;

основная масса ЛТСМ сформирована ЛТСМ, идентичными по составу ЛТСМ помещения 210/7;

плотность ЛТСМ 3,13 г/см<sup>3</sup>;

содержание урана 10 %.

Отсюда следует, что максимальное количество топлива в скоплении может достигать 31 т.

Таким образом, количество топлива в скоплении 2 составляет - 25 ± 6 т топлива по урану.

**Скопление 3** (см. рис. 1, поз. 3). Завал вдоль южной стены помещения 305/2. В него входит сам завал вдоль южной стены помещения 305/2, образовавшийся в результате обрушения металлоконструкций и смещения труб нижних водяных коммуникаций (НВК). Координаты: 45<sub>+2000</sub>/49<sub>-2000</sub>, И/К<sub>-1000</sub>, отметки +11.000 - +13.500. Завал содержит ФАЗ и ЛТСМ. Практически все свободное пространство завала залито бетоном. Среди изогнутых труб НВК восточной части множество графитовых блоков, часть из которых носит следы интенсивного термического воздействия. В основании завала находится ржаво-рыжее образование, возможно, ЛТСМ. В восточной части завала на отметке +12.000 обнаружены ЛТСМ с концентрацией урана 10 - 14 %. В завале также обнаружены отдельные фрагменты ТСМ («черные, твердые, хрупкие кусочки») с концентрацией урана до 50 %. Предполагаемый тип ТСМ - фрагменты твэлов, черные и коричневые ЛТСМ.

Результаты оценки геометрии массива ЛТСМ помещения 305/2, а также визуальное обследование юго-восточной части завала, проведенное в 2007 г. [18], позволили осуществить корректировку данных по геометрии завала и количеству находящегося в нем топлива (по сравнению с данными работы [7]). Объем завала составляет ~ 60 м<sup>3</sup>.

Структуру завала хорошо характеризует фотография, представленная на рис. 7.

Основная масса завала – это бетон 1986 г. и трубы НВК. В то же время отдельные пробы ТСМ, например образцы лав, отобранные при бурении скважины Ю-12-78, имели высокую концентрацию урана [19]:



Рис. 7. Ствол скважины Ю-12-78, пробуренной в завале (отметка +12.000, ось 46<sub>+2850</sub>). Ствол хорошо просматривается на всю глубину завала (ряды И – И<sub>+1500</sub>).

Описание пробы	Уран, %	Уран (расчет по <sup>144</sup> Ce), %
Образец черного цвета, стеклообразный	10,17	10,64
Образец черного цвета, стеклообразный	13,58	20,86
Темно-коричневая хрупкая масса	9,25	12,40

Несмотря на наличие большого количества проб, отобранных из этого скопления, и исчерпывающей информации, полученной при визуальном обследовании, в настоящее время нет надежных данных о его структуре. Можно предположить, что в завале находится от 1 до 5 т топлива по урану (главным образом – фрагменты твэлов), которое, в основном, сосредоточено в нижней части завала на границе массива ЛТСМ.

**Скопление 4** (см. рис. 1, поз. 4). Стена рыхлых ТСМ. Полукруглая стена рыхлых ТСМ, образовавшаяся в процессе переплавки юго-восточного сектора схемы «ОР» и лавовой шихты. Границы участка - над железобетонным крестом вдоль границы отсутствующей юго-восточной части схемы «ОР». ТСМ имеют ржаво-рыжий, местами серый цвет. Такие же рыхлые ТСМ лежат вдоль этой стены на схеме «ОР» слоем толщиной от 0,5 до 2,5 м, которые также должны быть отнесены к этому скоплению. Координаты: 46<sub>-2000</sub>/47<sub>+1000</sub>, К<sub>-2000</sub>/Л<sub>+2000</sub>, отметки +11.000 - +16.500. Предполагается, что эти ТСМ образовались в самом начале процесса плавления материалов, находившихся в юго-восточной части помещения [10]. В настоящее время нет надежных источников информации о макро- и микросвойствах ТСМ в этом скоплении. Однако данные визуального обследования помещения 305/2 дают возможность оценить объем этого скопления на уровне 40 – 60 м<sup>3</sup>. Визуально плотность рыхлых ТСМ можно оценить на уровне 1 – 1,5 г/см<sup>3</sup>. Анализируя последовательность событий и процессы, происходившие в шахте реактора во время активной стадии аварии [10], можно предположить, что по химическому составу и содержанию урана эти ТСМ аналогичны лавам восточной части массива ЛТСМ. Т.е., содержание урана в рыхлых ТСМ можно оценить на уровне 4 – 6 % (мас.). Поэтому скопление 4 может содержать от 1,6 до 5,4 т урана.

**Скопление 5** (см. рис. 1, поз. 5). Схема «ОР» и завал на ней. Часть помещения, которая мало менялась после взрыва. Границы участка: сама схема «ОР» и внутренняя образующая бака Л (диаметром 16,6 м). Координаты: 46<sub>-2900</sub>/48<sub>+2900</sub>, М<sub>+2900</sub>/К<sub>-2900</sub>, отметки +11.000 - +24.000. К этому участку необходимо также отнести ТСМ, находящиеся в промежутке между боковыми цилиндрическими стенками схемы «ОР» и полукруглыми восточной и западной стенами помещения 305/2, а также технологические каналы с топливными сборками, свисающие в реакторное пространство со схемы «Е». В завале находятся топливные сборки в количестве 50 – 100 шт. (масса топлива 3 – 6 т).

На верхней плите оставшейся части схемы «ОР» в процессе плавления ФАЗ должен был образоваться слой ЛТСМ с заключенным в нем непереплавленным топливом. Часть этих ТСМ могла попасть внутрь схемы «ОР» через наблюдаемое визуальное термическое повреждение ее верхней плиты. Так или иначе, общий объем этих ТСМ должен составлять 25 – 50 м<sup>3</sup>. Количество заключенного в этом объеме топлива может составить от 3 до 7 т урана.

Пространство, заключенное между боковыми цилиндрическими стенками схемы «ОР» с выступающими над ней остатками схемы КЖ (оболочка реактора) и полукруглыми восточной и западной стенами помещения 305/2, имеет объем  $\sim 90 \text{ м}^3$ . ТСМ могут занимать  $\sim 50 \%$  этого объема. Анализ процессов, происходивших в шахте реактора и в помещении 305/2, позволяет предположить, что эти ТСМ аналогичны рыхлым ТСМ скопления 4. Руководствуясь приведенными данными, массу топлива в этой области можно оценить в 2 - 3 т по урану. Общий объем ТСМ в скоплении 5 составляет 70 - 100  $\text{м}^3$ , масса топлива -  $(12 \pm 5) \text{ т}$ .

**Скопление 6** (см. рис. 1, поз. 6). Полихромные ЛТСМ. Под наклонно стоящей бетонной плитой в районе пересечения оси 46 и ряда М на отогнутой части схемы КЖ находится натек ТСМ ("сталагмит") высотой 1 - 1,2 м и диаметром 0,2 - 0,5 м, являющийся продолжением «сталактита», свисающего с верхнего торца бетонной плиты. Цвет новообразования - сургучно-коричневый с ярко-голубыми прожилками, поверхность - блестящая, глянцевая, не подвергавшаяся разрушениям или ошелушиванию.

Ранее "сталагмит" представлял собой колонну ЛТСМ, как бы подпирающую верхний торец бетонной плиты. В настоящий момент длинная средняя часть "сталагмита" отсутствует. Однако по свидетельству очевидцев (А. Ю. Ненаглядов, Э. М. Пазухин) в 1988 - 1990 гг. она существовала и была обрушена при попытке отбора пробы. Координаты: 46, М; отметки: +16.000 - +24.000.

В 1996 г. из помещения 305/2 были отобраны образцы проб «сталагмита», визуальное обследование которых показало, что этот вид чернобыльских лав содержит слитые воедино фрагменты разного цвета – в основном, коричневого, желтого и ярко-синего цвета (отсюда и название этой модификации ЛТСМ – «полихромная керамика» - ПК) [20].

Позднее, в 2003 г., были исследованы образцы ПК коричневого и желтого цвета [21].

Содержание урана в образцах синего цвета  $\sim 5,7 \%$ , в образцах желтого и коричневого цвета  $\sim 7$  и  $7,6 \%$  соответственно.

Интересным является тот факт, что в синей модификации полихромных ЛТСМ цезия осталось значительно больше, чем в образцах ЛТСМ коричневого и желтого цвета: в синей модификации осталось  $\sim 65 \%$  (мас.), в коричневой и желтой -  $\sim 40 \%$  (мас.).

Суммарный объем «сталагмита» и «сталактита»  $\sim 0,7 \text{ м}^3$ . Результаты визуальных обследований указывают на то, что формирование этого образования происходило при вязкости примерно  $10^2 - 10^3 \text{ Па}\cdot\text{с}$  и на верхнем торце бетонной плиты должны присутствовать застывшие лавы, возможно, объемом до  $0,7 \text{ м}^3$ . Средняя плотность материала "сталагмита" –  $2,8 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Таким образом, масса топлива в скоплении 6 составляет 100 – 300 кг по урану.

**Скопление 7** (см. рис. 1, поз. 7). Северо-восточная часть помещения 305/2. Наименее изученная часть помещения 305/2. Границы участка: координаты:  $46_{+2000}/47_{-1000}$ , Л/М, отметка +9.700 (пространство под схемой «ОР»). Возможно присутствие ЛТСМ. Прямых данных, указывающих на наличие ТСМ, на этом участке нет. Однако данные измерений МЭД гамма-излучения, полученные в 1989 г. (отметка +9.000, МЭД до 250 Р/ч), а также характеристики керны, полученного при бурении скважин в подреакторной плите (отметка +9.100, бетон и металл – МЭД до 10 Р/ч, металл – МЭД до 5 Р/ч), косвенно указывают на наличие прожога пола и присутствие некоторого количества лавы на полу помещения.

Суммарная информация о ТСМ помещения 305,2 представлена в таблице.

#### Экспертные оценки распределения ТСМ по скоплениям помещения 305/2

Помещение	Скопление (отметка)	Краткая характеристика ТСМ в скоплении	Объем ТСМ, $\text{м}^3$	Количество топлива по урану, т
305/2	№ 1 (+8.400 – +11.000)	Черные ЛТСМ, ФАЗ	150 – 180	$36 \pm 12$
	№ 2 (+9.000 – +11.000)	Коричневые и черные ЛТСМ, возможно ФАЗ	80 - 100	$25 \pm 6$
	№ 3 (+11.000 – +13.500)	ЛТСМ, шихта, ФАЗ	5 - 10	$3 \pm 2$
305/2 и	№ 4 (+11.000 – +16.500)	Рыхлые ТСМ	40 - 60	$3,5 \pm 2$



504/2	№ 5 (+11.000 – +24.000)	ЛТСМ, шихта, ФАЗ, рыхлые ТСМ	70 - 100	12 ± 7
	№ 6 (+16.000 – +24.000)	Сталактит - ЛТСМ	0,7 – 1,4	0,2 ± 0,1
305/2	№ 7 (+9.700)	ЛТСМ?	до 20 (?)	до 1,5 (?)

Таким образом, общий объем ТСМ в помещении 305/2 составляет 350 - 470 м<sup>3</sup>, а количество топлива, заключенного в ТСМ, следует оценить в (80 ± 30) т по урану.

### Заключение

Как следует из вышеизложенного, вне зависимости от подходов, использованных при оценке суммарного количества топлива в помещении 305/2, получены вполне сопоставимые результаты:

- тепловые расчеты [1]: 75 ± 25 т по урану;
- разбиение на отдельные квартиры [4]: более 60 т по урану;
- визуально-аналитический метод, разбиение на отдельные скопления, усредненные данные анализов проб, отобранных из помещения 305/2 [7]: 85 ± 25 т по урану;
- разбиение на отдельные скопления, расчетно-аналитический метод, анализ процессов, происходивших на активной стадии аварии, усредненные данные анализов проб, отобранных из помещения 305/2, усредненные данные анализов проб, отобранных из помещений, находящихся на путях движения лавы (настоящая работа): 80 ± 30 т по урану.

По мнению авторов, проведенные оценки, сделанные в предлагаемом сообщении, позволяют существенно уточнить топографию топлива в помещении 305/2.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Оценка количества топлива в скоплениях ТСМ в подаппаратном помещении: (Отчет о НИР) / КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова. – Инв. № 11.07/26. - Чернобыль, 1990. - 11 с.*
2. *Экспериментальные исследования лавообразных топливосодержащих масс (ТСМ) на 4-м блоке ЧАЭС / А. Н. Киселев, А. Ю. Ненаглядов, А. И. Сурин, К. П. Чечеров. - Москва, 1992. - 120 с. - (Препр. / ИАЭ им. И. В. Курчатова; ИАЭ-5533/3).*
3. *Результаты дополнительных исследований мест скоплений ЛТСМ на 4-м блоке ЧАЭС / А. Н. Киселев, А. И. Сурин, К. П. Чечеров. - Москва, 1994. - 59 с. - (Препр. ИАЭ им. И. В. Курчатова; ИАЭ-5783/3).*
4. *Боровой А.А., Лагуненко А.С., Пазухин Э.М. Оценка количества топлива в подаппаратном помещении 305/2 4-го энергоблока чернобыльской АЭС // Атомная энергия. - 1998. - Т. 84, вып. 4. - С. 356 - 361.*
5. *The Shelter current safety analysis and situation development forecasts (update version) / A. Borovoy et al. - Tasis, European Commission, 1998. - 103 p.*
6. *Пазухин Э.М. Лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС топография, физико-химические свойства, сценарий образования // Радиохимия. - 1994. - Т. 36, № 2. - С. 97 - 142.*
7. *Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации: (Отчет о НИР) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. - Арх. № 3836. - Чернобыль, 2001. – 337 с.*
8. *Результаты тепловых и радиационных измерений на ОУ за период 1988 - 1989 гг.: (Отчет о НИР) / КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова. - Арх. № 1379 (архив МНТЦ «Укрытие» НАН Украины), 1989. – 47 с.*
9. *Бабенко В.А., Высотский Е.Д., Ключников А.А. и др. Моделирование массовых и геометрических параметров скопления топливосодержащих материалов в юго-восточной части помещения 305/2 разрушенного 4-го блока ЧАЭС // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2008. – Вип. 9. - С. 36 - 42.*
10. *Лагуненко А.С. Поиск и исследование скрытых скоплений топливосодержащих материалов разрушенного 4-го блока Чернобыльской АЭС: Дис. ... канд. техн. наук. - К., 2008. - 148 с.*

11. *Высотский Е.Д., Ключников А.А., Щербин В.Н., Шостак В.Б.* Нейтронно-физические характеристики ядерно-опасных скоплений топливосодержащих материалов // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. – 2009. – Вып. 12. – С. 93 – 102.
12. *Гончар В.В., Жидков А.В.* Динамика высокотемпературного взаимодействия аварийного ядерного топлива с конструкционными материалами РБМК // Проблемы Чернобиля. – 2002. – Вып. 9. – С. 25 - 33.
13. *Пазухин Э.М., Краснов В.А.* По поводу «грубого инженерного просчета», допущенного при проектировании реактора РБМК-1000, а также необходимости «существенной корректировки сценария протекания активной фазы аварии 1986 г. // Там же. – 2004. – Вып. 15. – С. 93 - 102.
14. *Богатов С.А., Боровой А.А., Лагуненко А.С. и др.* Образование и растекание чернобыльских лав // Радиохимия. – 2008. – Т. 50, № 6. – С. 565 - 568.
15. *Скважины объекта "Укрытие".* Обобщенные данные (альбом) / МНТЦ "Укрытие" НАН Украины. - Инв. № 09/05-66. - Чернобыль, 1998. - 117 с.
16. *Высотский Е.Д., Краснов В.А., Лагуненко А.С., Пазухин Э.М.* Топливо в помещении 305/2 4-го блока ЧАЭС. Критмассовые зоны. Уточнение сценария образования лавообразных топливосодержащих материалов // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. – 2007. – Вып. 8. – С. 77 - 86.
17. *Боровой А.А., Лагуненко А.С., Пазухин Э.М.* Новые оценки количества ядерного топлива, находящегося на нижних отметках объекта "Укрытие" // Проблемы Чернобиля - 2000. – Вып. 6. – С. 13 - 16.
18. *Отчет о выполнении инженерных обследований скважин Ю-12-78, 3-9-К:* Отчет SIP AOS3 02 0 EJH 01 01, 11.12.07. – 30 с.
19. *Определение* изотопного состава образцов ТСМ объекта «Укрытие» // (Отчет) / КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова. Инв. - № 11.07/32.- Чернобыль, 1990.- 17 с.
20. *Изучение* физико-химических свойств, радионуклидного, элементного и фазового состава ТСМ ОУ, оценка критичности скоплений ТСМ. Книга 1. "Изучение радионуклидного и элементного состава ЛТСМ ОУ": (Промежуточный отчет) / МНТЦ "Укрытие". - Арх. № 3657.- Чернобыль, 1996. - 49 с.
21. *Пазухин Э.М., Лагуненко А.С., Краснов В.А., Билько В.В.* Топливо на верхних отметках разрушенного 4-го блока ЧАЭС. Уточнение сценария образования полихромной керамики // Радиохимия. – 2006. – Т. 48, № 6. – С. 470 - 480.

## **НОВІ КІЛЬКІСНІ ОЦІНКИ ЯДЕРНОГО ПАЛИВА В ПРИМІЩЕННІ 305/2 ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»**

**Е. М. Пазухін, О. С. Лагуненко, С. А. Довидьков**

З урахуванням нових розрахункових даних і на основі аналізу подій і процесів, що відбувалися в приміщенні 305/2 на стадії утворення та розтікання чернобыльських лав, проведено оцінку розподілу ядерного палива в цьому приміщенні. Оцінку проведено для семи окремих характерних зон. При оцінці враховувалися як дані аналізів проб, відібраних із приміщення 305/2, так і результати аналізів проб із довколишніх приміщень. Загальна кількість опроміненого ядерного палива в приміщенні 305/2, згідно з проведеним аналізом, становить по урану  $80 \pm 30$  т, що цілком зіставно з результатами раніше проведених досліджень.

*Ключові слова:* лава, паливовмісні матеріали, оцінка, скупчення, уран, ядерне паливо.

## **NEW QUANTITATIVE ESTIMATES OF NUCLEAR FUEL IN "UKRYTTYA" OBJECT ROOM 305/2**

**E. M. Pazukhin, O. S. Lagunencko, S. A. Dovydkov**

Considering new design data and based on analysis of events and processes occurred in room 305/2 at stage of production and spread of Chernobyl lavas, an estimate was made of nuclear fuel distribution in this room. The estimate was made for 7 separate and typical areas. When estimating, the both data were taken into account of analyses of samples taken in room 305/2, and analysis results of samples retrieved from adjacent rooms. Total amount of irradiated nuclear fuel in room 305/2, according to analysis carried out, makes on uranium  $80 \pm 30$  t, that is purely comparable with the results of earlier researches.

*Keywords:* lava, fuel-containing materials, estimation, cluster, uranium, nuclear fuel.

Поступила в редакцию 12.05.10