

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ВЫБРОСА
ПО ИЗМЕРЕНИЯМ МОЩНОСТИ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ В Г. ПРИПЯТЬ

© 2010 Н. Н. Талерко

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев

С помощью математического моделирования атмосферного переноса проведены расчеты распространения радиоактивного выброса из аварийного блока ЧАЭС с 26 по 29 апреля 1986 г. в направлении г. Припять. С использованием данных измерений мощности экспозиционной дозы, выполненных в первые дни аварии в 31 пункте на территории города, путем решения обратной задачи атмосферного распространения радионуклидов проведена реконструкция параметров чернобыльского выброса – эффективной высоты источника и интенсивности выбросов. Проведены оценки вклада основных дозообразующих нуклидов в экспозиционную дозу за первые 40 ч после аварии (соответствующих периоду пребывания населения в городе до эвакуации). Средняя по территории города плотность выпадений ^{131}I по данным расчетов составила около $5,2 \cdot 10^4$ кБк/м² (по состоянию на 29 апреля 1986 г.), при минимальном и максимальном значениях выпадений соответственно $2,8 \cdot 10^4$ кБк/м² (западный сектор, расстояние от реактора 4,5 км) и $1,2 \cdot 10^5$ кБк/м² (северо-восточный сектор города, 2 км от реактора). На время начала эвакуации 27 апреля выпадения составили около 90 % от этих значений.

Ключевые слова: Чернобыльская авария, моделирование атмосферного переноса, мощность экспозиционной дозы, реконструкция параметров источника выброса.

Введение

Для оценки и оперативного прогнозирования последствий загрязнения окружающей среды аварийными выбросами из промышленных объектов (в том числе радиоактивными выбросами из объектов атомной энергетики и ядерной промышленности) используются модели распространения выбросов в атмосфере. При этом результаты такого моделирования существенно зависят от использованных в расчетах параметров источника выброса. Как правило, в начальный период реальной аварии такая информация может быть получена с большой степенью неопределенности.

Поэтому при создании систем реагирования на промышленные аварии оценка параметров источника загрязняющих выбросов в атмосферу по данным измерений в окружающей среде является одной из важных задач. В первую очередь это касается разработки систем поддержки принятия решений по защите населения и окружающей среды в случае радиационных аварий. Основной подход к восстановлению характеристик источника – решение обратной задачи атмосферного распространения примеси с использованием соответствующих математических моделей атмосферного переноса.

Точность восстановления параметров источника выброса определяется тремя основными факторами: 1) физико-математической моделью атмосферного переноса примеси; 2) математическим методом для оценки параметров источника по данным измерений (ассимиляции данных измерений); 3) полнотой и достоверностью используемых данных измерений на территории рас-

пространения выброса. Кроме того, результаты моделирования атмосферного переноса существенно зависят от входной метеорологической информации, определяющей условия распространения выброса. В ряде случаев данные метеорологических измерений могут быть получены с недостаточным разрешением по пространству и времени, что вносит дополнительную неопределенность в результаты восстановления параметров источника.

Для решения конкретной задачи выбор модели атмосферного переноса атмосферной примеси определяется прежде всего типом источника (высотный «точечный», объемный, линейный, наземный площадной и т.п.) и пространственно-временными масштабами распространения примеси в атмосфере [1]. Обзор математических методов ассимиляции данных приведен в [2]. В качестве данных измерений для восстановления параметров источника выброса используются результаты измерений концентрации примеси в приземном слое воздуха, плотности выпадений на подстилающую поверхность, а также данные измерений мощности экспозиционной дозы ионизирующего излучения (для радиоактивного выброса).

**Восстановление параметров источника
для аварии на ЧАЭС**

Неопределенность оценок характеристик источника радиоактивного выброса во время аварии на ЧАЭС в 1986 г. связана с целым рядом причин: длительностью периода интенсивных выбросов, сложностью процессов выхода радионуклидов из аварийного реактора, существенной

нестационарностью параметров источника (в первую очередь интенсивности выброса и эффективной начальной высоты подъема струи), сложным нуклидным и физико-химическим составом выброса и другими факторами. Проведенные различными методами реконструкции параметров источника основывались как на данных о состоянии топлива в самом аварийном реакторе, так и на измерениях в окружающей среде на различных расстояниях от источника – от промплощадки ЧАЭС до расстояний порядка тысяч километров (Западная Европа, Азия, Северная Америка). Полученные оценки параметров источника (прежде всего, интегральной по времени активности выброса основных дозобразующих нуклидов) согласуются между собой с погрешностью, не превышающей 50 % [3]. Вместе с тем, очевидно, что полученные оценки существенно зависят от набора данных натуральных измерений, используемого для реконструкции параметров источника. Для различных реконструкций, использующих данные измерений объемной активности радионуклидов (^{137}Cs , ^{131}I) в приземном воздухе и их плотности выпадений на расстояниях мезомасштаба (порядка десятков километров) и более, полученные результаты интенсивности выбросов согласуются достаточно хорошо. Это связано с тем, что формирование полей радиоактивного загрязнения при удалении от источника становится менее чувствительным к ряду основных параметров источника. В частности, к значению максимальной высоты подъема радиоактивного выброса над источником («эффективной высоты источника») вследствие вертикального перемешивания радионуклидов в пограничном слое атмосферы. Кроме того,

вследствие постепенного обеднения радиоактивной струи за счет осаждения крупных частиц на подстилающую поверхность результаты моделирования на больших расстояниях становятся менее чувствительными к начальному распределению аэрозольных частиц выброса по размерам.

Учитывая сказанное, можно ожидать, что реконструкция параметров источника выброса по данным измерений в ближней зоне является наиболее сложной задачей. Применительно к Чернобыльской аварии она может решаться с использованием данных измерений мощности экспозиционной дозы (МЭД), проводившихся в первые дни аварии в г. Припять (см. следующий раздел). В данной статье приведены результаты такой реконструкции, имеющие целью: 1) выполнить независимую оценку параметров чернобыльского выброса по этим данным и сравнить полученные результаты с имеющимися оценками; 2) оценить принципиальную возможность восстановления параметров выброса по данным измерений МЭД в ближней зоне источника выброса. Опыт решения такой задачи может быть использован для анализа возможности по данным измерений стационарной АСКРО оценивать характеристики аварийного выброса АЭС.

Измерения МЭД в г. Припять в начальный период аварии на ЧАЭС

Измерения МЭД в г. Припять начались с 3 ч ночи 26 апреля 1986 г. сотрудниками ЧАЭС. Массив данных измерений составляют результаты измерений мощности МЭД в 31 точке пунктов, расположенных в различных частях города. Схема их расположения показана на рис. 1.

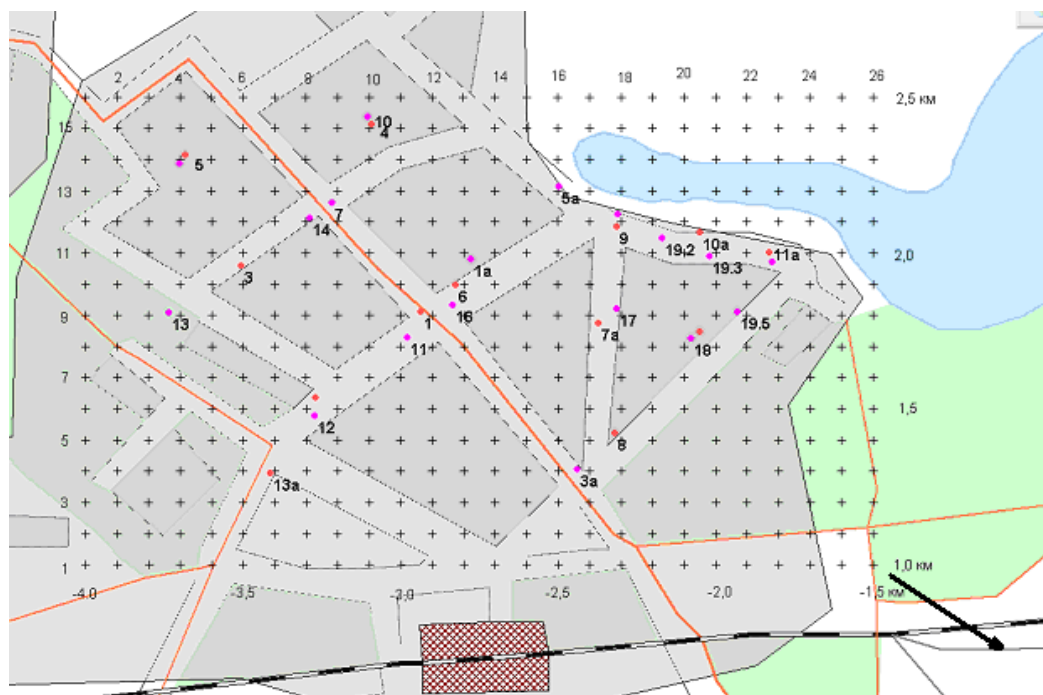


Рис. 1. План г. Припять с точками расположения пунктов измерений МЭД. Крестами обозначено положение узлов расчетной сетки (с указанием расстояний до начала координат, помещенном в точку расположения аварийного блока ЧАЭС). Стрелкой показано направление на ЧАЭС.

В каждой точке измерения проводились через нерегулярные промежутки времени (от 1 до 8 ч). Последние измерения в имеющемся массиве данных проведены в 23 ч 29 апреля. В течение этого периода поле МЭД в г. Припять характеризовалось сильной пространственной неоднородностью. Наиболее высокие значения зафиксированы в восточной части города (пункты измерений № 11а, 19.4, 10а, 19.2, 19.3, 19.5). Максимальное за весь период измерений значение МЭД, равное 1404 мР/ч, зафиксировано в точке № 19.5 в 14 ч 27 апреля.

На рис. 2 приведены результаты измерений МЭД в трех точках, расположенных в различных частях г. Припять, в течение первых четырех суток после аварии. Детальное описание радиационной ситуации в г. Припять в начальный период аварии приведено в [4]. Там же представлены результаты реконструкции доз внешнего облучения населения г. Припять. Результаты реконструкции доз облучения щитовидной железы жителей г. Припять приведены в [5].

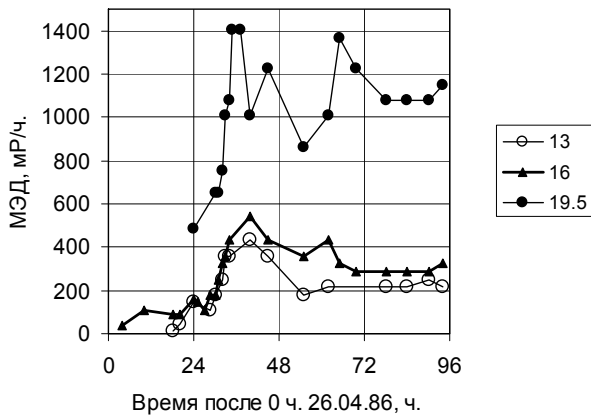


Рис. 2. Результаты измерений МЭД в трех пунктах (№ 13, 16 и 19.5).

Моделирование формирования поля радиоактивного загрязнения в г. Припять

Для расчетов распространения радионуклидов в атмосфере и их осаждения на земную поверхность использована гауссова модель струи (модель МАГАТЭ) [6]. Входными параметрами для нее являются: 1) интенсивность выброса для каждого из рассматриваемых нуклидов; 2) максимальная высота подъема выброса над источником («эффективная» высота источника); 3) скорость сухого осаждения аэрозольных частиц выброса (которая в общем случае может быть разной для различных нуклидов); 4) метеорологические параметры – скорость и направление ветра, значение категории устойчивости атмосферы. Поскольку гауссова модель предполагает стационарность параметров выброса и метеорологических условий его распространения, то для описания меняющейся во времени картины фор-

мирования поля радиоактивного загрязнения Чернобыльской аварии рассматриваемый период (26 - 29 апреля 1986 г.) разбивался на несколько интервалов, в течение каждого из которых предполагалась стационарность (прежде всего метеопараметров).

Дальнейшие расчеты проводились для основных гамма-излучающих нуклидов, список которых приведен в табл. 1. В ней же представлены оценки выброса из ЧАЭС согласно [7].

Задача восстановления параметров источника по данным измерений предполагает расчет концентрации примеси в заданной точке (или их совокупности) для источника единичной мощности. Интенсивность выброса оценивается путем сравнения расчетной и измеренной концентраций. Очевидно, что в данном случае (с использованием данных измерений МЭД) невозможно решать такую задачу для каждого из нуклидов из табл. 1 независимо. Поэтому отношение активностей различных нуклидов в выбросе предполагалось заданным и определялось значениями из табл. 2 (2-я колонка). В качестве «реперного» нуклида был выбран ^{137}Cs , интенсивность выброса которого принималась равной 1. Интенсивность выброса каждого из остальных нуклидов (по отношению к ^{137}Cs) приведена в табл. 2 (3-я колонка).

С определенной указанным способом для каждого нуклида интенсивностью выброса с помощью гауссовой модели атмосферного переноса рассчитывались значения относительных объемных удельных активностей радионуклидов в воздухе для каждого из 31 пунктов измерений, а также в узлах регулярной прямоугольной сетки, покрывающей территорию города. Шаг сетки 100 м. Количество узлов 26×16 . Границы сетки расположены на удалении 1,5 - 4,0 км на запад и 1,0 - 2,5 км на север от аварийного блока ЧАЭС.

Кроме того, с помощью модели атмосферного переноса в указанных точках рассчитывались значения относительных поверхностных удельных активностей радионуклидов в выпадениях на почву. Значение скорости сухого осаждения ^{137}Cs принималось равным 5 мм/с согласно данным измерений, приведенным в [8], а также численным оценкам [9]. Значения скорости сухого осаждения для остальных радионуклидов, зависящие от их физико-химических свойств и характерных размеров аэрозольных частиц выброса, определялись согласно результатам работы [10], в которой проведено обобщение данных о радионуклидных соотношениях в чернобыльских выпадениях, в том числе и для ближней зоны поля выпадений. Полученные значения скорости сухого осаждения приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики радионуклидов в выбросе из ЧАЭС, использованные при моделировании атмосферного переноса

Нуклид	Оценка суммарного выброса [7], ПБк	Интенсивность выброса относительно ^{137}Cs	Оценка скорости сухого осаждения, мм/с
^{85}Kr	33	0.39	0
^{133}Xe	6500	76	0
^{131}I	1760	21	6.7
^{132}I	1150	14	7.1
^{133}I	2500	29	6.7
^{132}Te	1150	14	7.1
^{134}Cs	54	0.64	5.0
^{136}Cs	36	0.42	5.0
^{137}Cs	85	1	5.0
^{103}Ru	168	2.0	27
^{106}Ru	73	0.86	27
^{140}La	240	2.8	49
^{140}Ba	240	2.8	49
^{95}Zr	196	2.3	58
^{95}Nb	196	2.3	58
^{99}Mo	168	2.0	9.6
^{141}Ce	196	2.3	23
^{144}Ce	116	1.4	23
^{239}Np	945	11	101

С помощью полученных значений объемной и поверхностной активности каждого из нуклидов (для источника единичной мощности по ^{137}Cs) рассчитывался вклад каждого нуклида в МЭД от воздушной компоненты и от выпадений соответственно. Значения МЭД от выпадений рассчитывались согласно [11]. При расчете значений МЭД от активности в воздухе был использован подход, изложенный в [12, 13], который позволяет в ближней зоне источника выброса получить более точные оценки значений мощности дозы излучения по сравнению с обычно используемым подходом [11].

Метеорологические условия распространения выброса в ближней зоне источника

Для обеспечения использованной в данной работе гауссовой модели атмосферного переноса метеорологической информацией достаточно данных наблюдений стандартной метеостанции сети гидрометслужбы, расположенной вблизи источника выброса. К сожалению, данные измерений ближайшей к ЧАЭС метеостанции в Чернобыле не могут полностью воспроизвести динамику изменения метеоусловий в районе г. Припять. Это связано как с локальными особенностями формирования метеоусловий (прежде всего, поля ветра), так и со слишком большим периодом проведения измерений, равным 6 ч.

Поэтому был проведен предварительный анализ динамики изменения МЭД по всем пунктам измерений. На его основе были выделены перио-

ды, в течение которых наблюдался систематический подъем значений МЭД по всем (или большинству) пунктов измерений. Такие периоды, очевидно, были связаны с изменением погодных условий, приводящих к переносу выбросов из ЧАЭС в направлении г. Припять. В табл. 2 приведены выбранные интервалы в пределах рассматриваемого периода с 26 по 29 апреля 1986 г. В пределах каждого из них погодные условия предполагались постоянными. Для каждого из выбранных интервалов значения скорости ветра и категории устойчивости (как менее переменных во времени и по территории) определялись согласно данным метеонаблюдений на метеостанции в Чернобыле. В то же время расчетные величины объемной активности в заданной точке являются наиболее чувствительными к значению направления ветра в слое распространения выброса. По указанным выше причинам данные измерений в Чернобыле не могут быть использованы для определения направления ветра для каждого из выбранных периодов. Поэтому эта величина в дальнейшем рассматривалась как дополнительный параметр, требующий своего определения в рамках решения обратной задачи атмосферного переноса.

Метод оценки параметров источника по данным измерений

Для восстановления параметров чернобыльского выброса методом решения обратной задачи атмосферного переноса использован подход,

Таблица 2. Периоды переноса радиоактивного выброса из ЧАЭС в направлении г. Припять

Дата	Время, ч	Скорость ветра, м/с	Класс устойчивости атмосферы	Длительность переноса на Припять, ч
26.04.86	17 - 21	6	D	4
26.04.86	21 - 02	2	D	5
27.04.86	05 - 07	2	D	2
27.04.86	08 - 14	2	C	6
27.04.86	14 - 17	2	C	3
27.04.86	21 - 23	4	D	2
28.04.86	12 - 18	3	C	6
29.04.86	15 - 24	2	D	9

изложенный в [14]. Метод позволяет оценить интенсивность выброса, высоту выброса и уточнить направление среднего ветра в слое распространения выброса. Решение задачи восстановления выброса по данным измерений МЭД в зоне радиоактивного загрязнения проводится методом, основанном на принципе минимакса [15].

Пусть имеется массив данных измерений МЭД Q_i в N точках ($i = 1, \dots, N$) зоны воздействия источника. Также имеется априорная информация об интервалах, в которых могут находиться интенсивность выброса $I \in [I^-, I^+]$, высота выброса $H \in [H^-, H^+]$ и направление скорости ветра $\phi \in [\phi^-, \phi^+]$. Тогда в качестве оценки интенсивности выброса при известной высоте выброса H выбирается решение минимаксной задачи

$$\hat{I}(H) = \arg \min_{I \in [I^-, I^+]} \left(\max_{\phi \in [\phi^-, \phi^+]} |I - I_0(\phi, H)| \right). \quad (1)$$

Здесь функция $I_0(\phi, H)$ - решение задачи

$$I_0(\phi, H) = \arg \min_{I \in [I^-, I^+]} \left(\sum_{i=1}^N (Q_i - q_i(\phi, H))^2 \right). \quad (2)$$

В формуле (2) $q_i(\phi, H)$ - рассчитанное по модели атмосферного переноса и дозиметрическим моделям значение МЭД в точке i при заданных высоте выброса H , направлении ветра ϕ и источнике единичной интенсивности $I = 1$.

Для одновременной оценки высоты выброса в интервале $[H^-, H^+]$ выбирается множество H_k возможных значений H . Для каждого из них применяется вышеуказанный алгоритм и вычисляются оценки $\hat{I}_k = \hat{I}(H_k)$ и $\hat{\phi}_k = \hat{\phi}(H_k)$. Далее вычисляются значения функционалов

$$F_k = \left(\sum_{i=1}^N \left(Q_i - \hat{I}_k q_i(\hat{\phi}_k, H_k) \right)^2 \right) \quad (3)$$

для каждого H_k . В качестве оценки интенсивности и эффективной высоты источника, а также уточненного значения направления скорости ветра выбираются значения $\hat{I}_m, \hat{H}_m, \hat{\phi}_m$, где $m = \arg \min_k F_k$.

В рассматриваемой задаче указанный алгоритм применяется для восстановления I, H, ϕ для каждого из восьми временных интервалов, приведенных в табл. 2. Значение I в данном случае определяет интенсивность выброса ^{137}Cs , а интенсивность выброса остальных нуклидов рассчитывается с помощью нуклидных соотношений в выбросе (см. табл. 2). Границы интервала для I задавались в максимально широком диапазоне $I^- = 0$ Бк/с, $I^+ = 10^{17}$ Бк/с. Границы интервала для высоты выброса H выбраны равными $H^- = 50$ м, $H^+ = 400$ м. Оценки проводились для значений $H_m = 50, 100, 200, 300$ и 400 м. Границы интервала для направления ветра задавались равными $\phi^- = 90^\circ$ (направление переноса на запад от ЧАЭС), $\phi^+ = 180^\circ$ (перенос на север).

Результаты восстановления параметров выброса

Результаты восстановления значений интенсивности выброса, эффективной высоты выброса и уточнения направления среднего ветра в слое распространения выброса приведены в табл. 3.

Значение эффективной высоты подъема смеси оценено равным 200 м только в первый день аварии. В последующие периоды оно не превышает 100 м.

Интерполируя по времени полученные результаты оценки интенсивности выброса для

Таблица 3. Результаты восстановления параметров чернобыльского выброса и направления ветра для каждого выбранного периода

Дата	Время, ч	H , м	Расчетная интенсивность выброса ^{137}Cs , Бк/с	Расчетная интенсивность выброса ^{131}I , Бк/с	Направление ветра, град
26.04.86	17 - 21	200	$2,1 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{12}$	140
26.04.86	21 - 02	50	$2,1 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^{11}$	145
27.04.86	05 - 07	100	$8,3 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{11}$	115
27.04.86	08 - 14	100	$2,0 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{11}$	130
27.04.86	14 - 17	50	$7,8 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{11}$	120
27.04.86	21 - 23	50	$1,4 \cdot 10^{10}$	$1,8 \cdot 10^{11}$	135
28.04.86	12 - 18	100	$1,5 \cdot 10^{10}$	$2,0 \cdot 10^{11}$	140
29.04.86	15 - 24	100	$1,1 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^{11}$	130

каждого из рассмотренных периодов переноса выброса на г. Припять, можно оценить значения суточных выбросов из аварийного реактора. Полученные оценки суточных выбросов ^{137}Cs составляют 16 ПБк для 26 апреля, 1,2 ПБк для 27 апреля, 1,3 ПБк для 28 апреля и 0,95 ПБк для 29 апреля. Оценки суточных выбросов из [7], которые могут рассматриваться как наиболее достоверные, дают значения 34, 9,9, 7,2 и 4,9 ПБк соответственно. Таким образом, восстановленные в результате решения обратной задачи атмосферного переноса по данным измерений

в г. Припять значения суточных выбросов ^{137}Cs составляют от 47 % (для 26 апреля) до всего лишь 13 – 19 % для остальных трех суток. Для оценок суточных выбросов ^{131}I получены аналогичные соотношения: 26 апреля – 230 ПБк (наши оценки) и 480 ПБк (согласно [7]); 27 апреля – 17 и 132 ПБк; 28 апреля – 17 и 92 ПБк; 29 апреля – 12 и 60 ПБк соответственно.

На рис. 3 приведены примеры сравнения расчетных и измеренных зависимостей МЭД от времени для четырех точек измерений, расположенных в различных частях города.

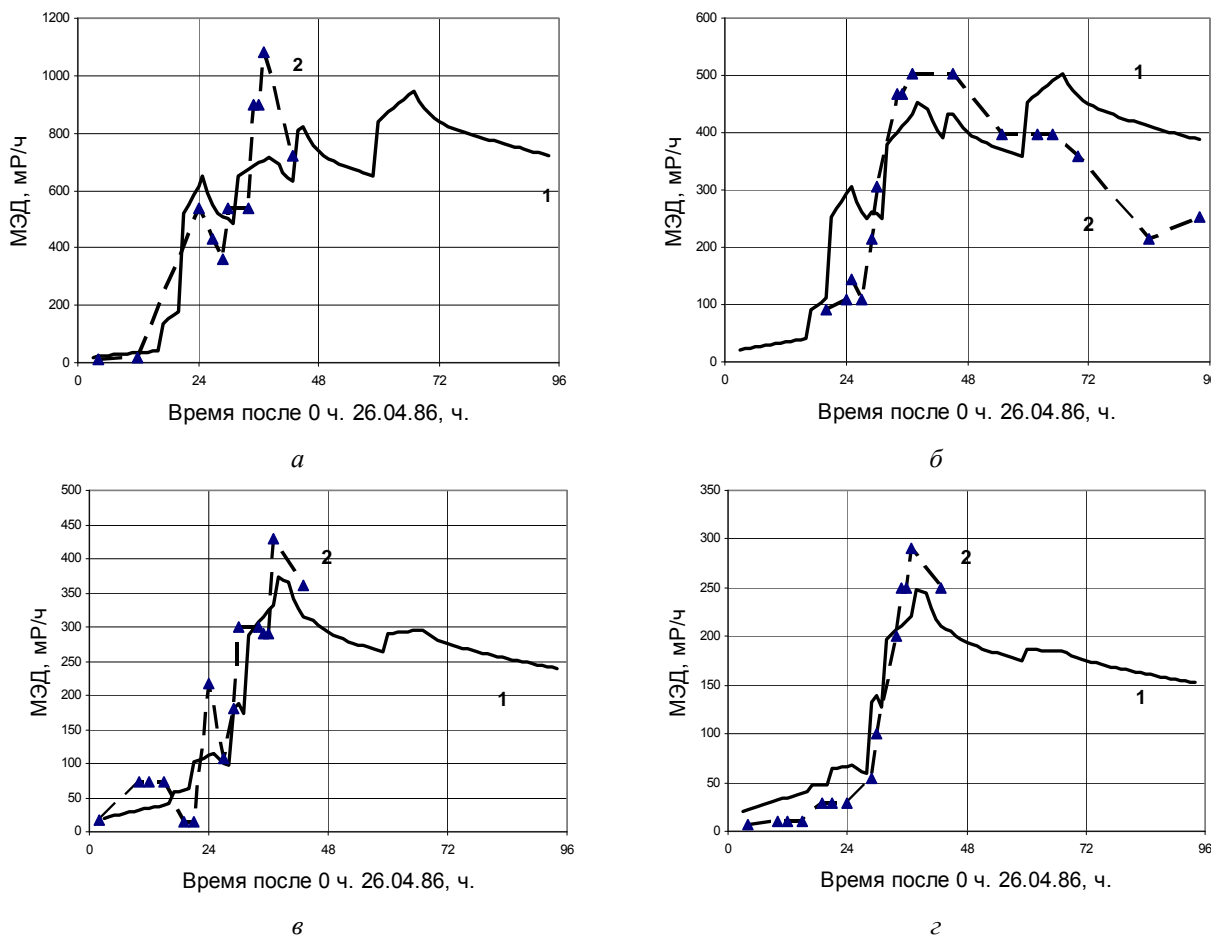


Рис. 3. Динамика изменений МЭД во времени для точек измерений № 1а (а), 5а (б), 6 (в) и 5 (г): 1 – расчетные значения; 2 – результаты измерений.

В целом поле поверхностной активности каждого из нуклидов, рассчитанное в узлах сетки (см. рис. 1), имеет максимальные значения в северо-восточной части г. Припять. В районе расположения пункта № 11а его значение достигло к концу суток 29 апреля $6 \cdot 10^3$ кБк/м² для ¹³⁷Cs и $1,2 \cdot 10^5$ кБк/м² для ¹³¹I. В юго-восточной части города значения поверхностной активности минимальны – $1,5 \cdot 10^3$ кБк/м² для ¹³⁷Cs и $2,8 \cdot 10^4$ кБк/м² для ¹³¹I.

На рис. 4 показан относительный вклад отдельных радионуклидов в интегральное по времени (за первые 40 ч после аварии) значение

экспозиционной дозы. Указанный период выбран в соответствии со средним временем пребывания жителей в г. Припять до эвакуации. Основной вклад в экспозиционную дозу, определяемую излучением от нуклидов, находившихся в воздухе, дают изотопы йода. Для выпадений их доля уменьшается до 18 %, а основной вклад определили ¹⁴⁰La, ⁹⁵Zr и ⁹⁵Nb, находившиеся в крупных аэрозольных частицах. В оценках значений экспозиционной дозы от совместного действия воздушной и наземной компоненты доля йода составляет около 40 %.

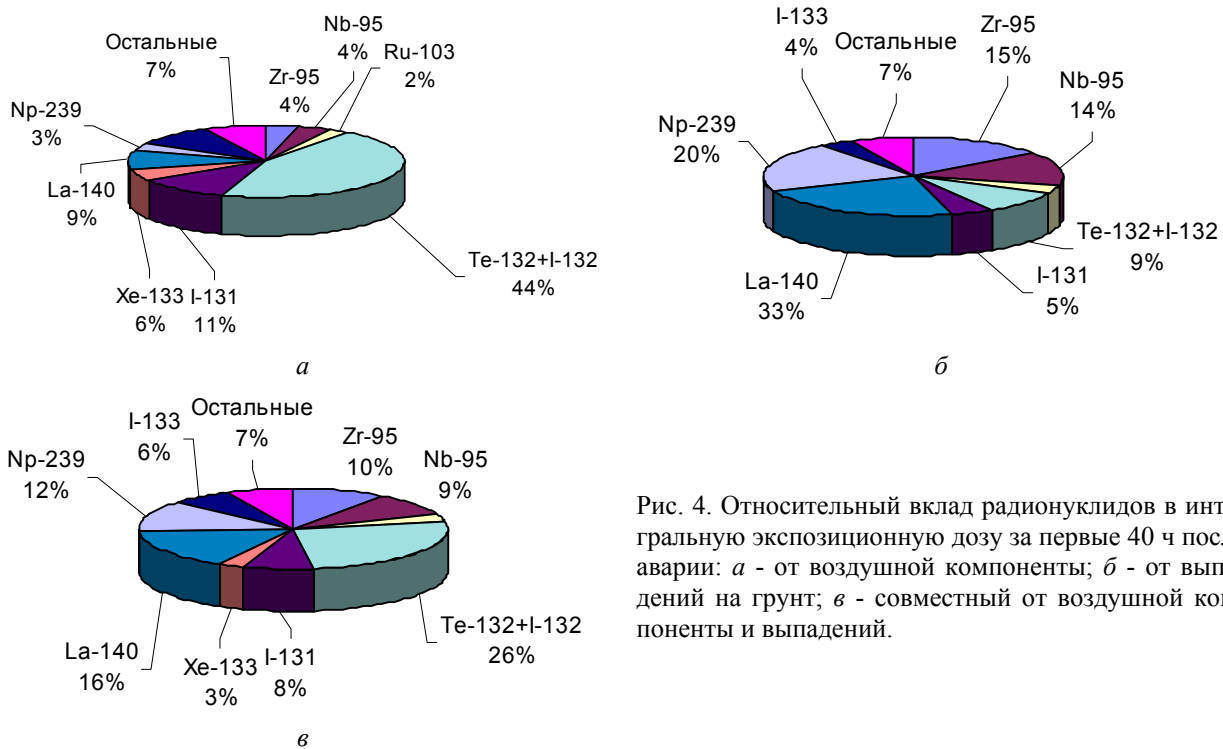


Рис. 4. Относительный вклад радионуклидов в интегральную экспозиционную дозу за первые 40 ч после аварии: а - от воздушной компоненты; б - от выпадений на грунт; в - совместный от воздушной компоненты и выпадений.

Выводы

Алгоритм восстановления параметров источника (интенсивности выброса и его эффективной высоты), а также уточнения метеорологических условий распространения примеси на основе решения обратной задачи атмосферного переноса применен к оценке характеристик выброса из ЧАЭС 1986 г. Показано, что использование в качестве исходных данных результатов измерений МЭД в ближней зоне источника (г. Припять) позволяет описать пространственное распределение и временную динамику поля радиоактивного загрязнения и получить информацию о характеристиках источника выброса. Результаты оценки детализированных (по отдельным секторам города и по времени) удельных активностей радионуклидов являются основой для уточненной реконструкции доз облучения щитовидной желе-

зы жителей г. Припять. В рамках использованного подхода основным источником погрешности полученных оценок многокомпонентного выброса является априори задаваемое соотношение активности радионуклидов в выбросе, а также в выпадениях (определяемое значениями скорости осадения радионуклидов на земную поверхность).

Полученные в результате значения суточных выбросов из аварийного блока ЧАЭС оказались в 2 - 6 раз меньше общепринятых оценок. Этот результат может быть показателем того, что реконструкция параметров выброса лишь на основе измерений, проведенных на расстояниях 2 - 4 км от источника, полностью не отражает картины распространения выброса в атмосфере. В случае крупной коммунальной аварии часть активности вследствие теплового или динамического импульсов может подниматься на высоты более 200

- 300 м. При этом она становится практически «незаметной» для измерительных приборов, расположенных в санитарно-защитной зоне АЭС. Этот результат следует учитывать при планировании размещения сети датчиков АСКРО АЭС, а также при оценках эффективности ее работы в

случае радиационной аварии. Достаточно надежная оценка параметров аварийного выброса должна проводиться не только на основании данных измерений в санитарно-защитной зоне, но и использованием измерений на более удаленных расстояниях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Талерко Н.Н.* Физические особенности и ограничения моделей атмосферного переноса радионуклидов для разных пространственно-временных масштабов // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2009. - Вип. 11. - С. 57 - 62.
2. *Robertson L., Langner J.* Source function estimate by means of variational data assimilation applied to the ETEX-1 tracer experiment // Atmospheric Environment. - 1998. - Vol. 32. - P. 4219 - 4225.
3. *Davoine X., Bocquet M.* Modelling based reconstruction of the Chernobyl source term available for long-range transport // Atmos. Chem. Phys. Discuss. - 2007. - Vol. 7. - P. 1 - 43.
4. *Likhtarev I.A., Chumak V.V., Repin V.S.* Retrospective reconstruction of individual and collective external gamma doses of population evacuated after the Chernobyl accident // Health Physics. - 1994. - Vol. 66(6). - P. 643 - 652.
5. *Retrospective dosimetry and dose reconstruction. Experimental collaboration project No. 10. Final report / I. K. Bailiff, V. Stepanenko // European Commission. - EUR 16540 EN. - Luxembourg, 1996. - 115 p.*
6. *Atmospheric dispersion in nuclear power plant siting: A safety guide, IAEA Safety series No. 50-SG-S3. - Vienna: IAEA, 1980. - 108 p.*
7. *United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2000 Report to General Assembly. - New York: United Nations, 2000.*
8. *Чернобыль: Радиоактивное загрязнение природных сред / Под ред. Ю. А. Израэля. - Л.: Гидрометеоиздат, 1990.*
9. *Talerko N.* Mesoscale modelling of radioactive contamination formation in Ukraine caused by the Chernobyl accident // J. Environ. Radioactivity. - 2005. - Vol. 78, No. 3. - P. 311 - 329.
10. *Muck K., Prohl G., Likhtarev I. et al.* A consistent radionuclide vector after the Chernobyl accident // Health Physic. - 2002. - Vol. 82. - P. 141 - 156.
11. *Гусев Н. Г., Беляев В. А.* Радиоактивные выбросы в биосфере: Справ. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 224 с.
12. *Gorshkov V.E., Karmazin I.P., Tarasov V.I.* Reduced integral solutions for gamma absorbed dose from Gaussian plume // Health Physics. - 1995. - Vol. 69, No. 2. - P. 210 - 218.
13. *Талерко Н.Н.* Комплекс моделей для оценки последствий атмосферных выбросов из АЭС в условиях неоднородных и нестационарных полей активности радионуклидов в воздухе // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2005. - Вип. 2. - С. 8 - 16.
14. *Лодейкин Ю.А., Камаев Д.А., Клетикова Н.В., Фреймундт Г.Н.* Устойчивый алгоритм оценки параметров источника по измерениям в ближней зоне // Тез. докл. Всерос. науч. конф. «Исследование процессов в нижней атмосфере при помощи высотных сооружений». - Обнинск: НПО «Тайфун», 8 - 10 октября 2008 г. - С. 154 - 157.
15. *Крянев А.В., Лукин Г.В.* Математические методы обработки неопределенных данных. - М.: Физматлит, 2003. - 216 с.

ВІДНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОГО ВИКИДУ ПО ВИМІРЮВАННЯМ ПОТУЖНОСТІ ЕКСПОЗИЦІЙНОЇ ДОЗИ В М. ПРИП'ЯТЬ

М. М. Талерко

За допомогою математичного моделювання атмосферного перенесення було виконано розрахунки розповсюдження радіоактивного викиду з аварійного блока ЧАЕС з 26 по 29 квітня 1986 р. у напрямку м. Прип'ять. З використанням даних вимірювань потужності експозиційної дози, що виконувались у перші дні аварії в 31 пункті на території міста, шляхом розв'язання оберненої задачі атмосферного розповсюдження радіонуклідів було проведено реконструкцію параметрів чорнобильського викиду - ефективної висоти джерела та інтенсивності викидів. Проведено оцінки внеску основних дозоутворюючих нуклідів в експозиційну дозу за перші 40 год після аварії (що відповідають періоду перебування населення в місті до евакуації). Середня по території міста щільність випадінь ^{131}I за даними розрахунків становила близько $5,2 \cdot 10^4$ кБк/м² (станом на 29 квітня 1986 р.), при мінімальному та максимальному значенні випадінь відповідно $2,8 \cdot 10^4$ кБк/м² (західний сектор, відстань від реактора 4,5 км) і $1,2 \cdot 10^5$ кБк/м² (північно-східний сектор міста, 2 км від реактора). На час початку евакуації 27 квітня випадіння становили близько 90 % від цих значень.

Ключові слова: Чорнобильська аварія, моделювання атмосферного перенесення, потужність експозиційної дози, реконструкція параметрів джерела викиду.

**RECONSTRUCTION OF CHERNOBYL SOURCE PARAMETERS
USING GAMMA DOSE RATE MEASUREMENTS IN TOWN PRIPJAT****M. M. Talerko**

With the help of mathematical modeling of atmospheric transport the calculations of accidental release dispersion from the Chernobyl NPP to town Pripjat during period from 26 till 29 April 1986 have been carried out. Data of gamma rate measurements which was made in 31 points of the town were used. Based on the solution of atmospheric transport inverse problem the reconstruction of Chernobyl source parameters has been made including release intensity and effective source height. The input of main dose-forming radionuclides into the exposure dose during the first 40 hours after the accident (the period of population residence in the town before the evacuation) has been estimated. According to the calculations the ^{131}I deposition density averaged over the town territory was about $5.2 \cdot 10^4 \text{ kBq/m}^2$ (on 29.04.86). Minimum and maximum ^{131}I deposition values were $2.8 \cdot 10^4 \text{ kBq/m}^2$ (western part, distance to the unit is 4.5 km) and $1.2 \cdot 10^5 \text{ kBq/m}^2$ (north-eastern part of town, 2 km from the unit) accordingly. For the moment of the evacuation dated April 27, deposition values were about 90 percent of these values.

Keywords: Chernobyl accident, atmospheric transport modeling, gamma dose rate, release source parameters reconstruction.

Поступила в редакцию 19.03.10,
после доработки - 14.07.10.