

Н. Н. Талерко, Е. К. Гаргер, А. Г. Кузьменко

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Лысогорская, 12, корп. 106, Киев, 03028, Украина

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ТРАНСГРАНИЧНОГО ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ ВСЛЕДСТВИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ СМЕРЧА НАД ВОДОЕМОМ-ОХЛАДИТЕЛЕМ ЧАЭС

Выполнен прогноз возможного радиоактивного загрязнения территории Беларуси и России вследствие атмосферного переноса радионуклидов, поднятых с осушенной территории водоема-охладителя ЧАЭС при прохождении смерча в чернобыльской зоне отчуждения. Расчеты проведены с помощью комплекса моделей, включающего концептуальную модель смерча, мезомасштабную диффузионную модель атмосферного переноса примеси и блока дозиметрических моделей. Получено, что в ближайших населенных пунктах Беларуси и России увеличение плотности выпадений не превысит 1 - 2 % по сравнению с фактическим. Доза облучения для жителей Беларуси не превысит 1 мкЗв, России – 10^{-2} мкЗв.

Ключевые слова: водоем-охладитель ЧАЭС, смерч, модели распространения радионуклидов в атмосфере, радиоактивные аэрозоли, трансграничный перенос.

В рамках разработки проектной документации на вывод из эксплуатации водоема-охладителя ЧАЭС предусмотрено проведение оценки последствий возможного подъема радиоактивных аэрозолей с осушенного дна водоема в воздух и, в частности, трансграничного атмосферного переноса радионуклидов на территории соседних стран. Вторичный подъем радионуклидов с территории осушенной части пруда-охладителя ЧАЭС может происходить как при нормальных метеорологических условиях, так и в результате возникновения экстремальных метеорологических явлений, к которым относятся смерчи, пыльные бури, шквалы, а также травяные пожары на осушенной территории. В данной статье рассматриваются возможные последствия трансграничного переноса радионуклидов, поднимаемых в воздух в результате прохождения смерча в чернобыльской зоне отчуждения (ЧЗО).

Общая характеристика условий образования смерчей в районе расположения ЧАЭС

Согласно [1], территория ЧЗО находится в зоне повышенной смерчопасности. За период с 1969 по 2012 гг. в Киевской области было зафиксировано семь смерчей. С учетом последних наблюдений вероятность возникновения смерча в Киевской области на 1000 км^2 может быть оценена равной $1.5 \cdot 10^{-2}$ 1/год, в пределах ЧЗО – $6 \cdot 10^{-3}$ 1/год. Наиболее интенсивным среди наблюдавшихся в Киевской области был смерч 18 августа 1969 г., которому присвоен 3-й класс по шкале Фуджиты.

Смерчи возникают в условиях меридиональной циркуляции атмосферы, когда фронтальные зоны, вдоль которых образуются смерчевые облака, принимают положение, близкое к меридиональному. При этом происходит быстрое вторжение холодных воздушных масс из Арктики в южные районы и вынос на север теплого тропического воздуха, характеризующегося сильной вертикальной неустойчивостью [1]. Особенно это характерно для южных циклонов, формирующихся над Средиземным или Черным морями, а затем перемещающихся на северо-восток. При этом смерчи движутся в соответствии со скоростью и направлением ведущего потока. Анализ траекторий движения смерчей, наблюдавшихся над Европейской частью бывшего СССР [2], показал, что в 73 % случаев направление их движения - с юго-запада на северо-восток. В остальных случаях траектории перемещения смерчей распределяются следующим образом: с юга на север 10 %; с запада на восток 6 %; с юго-востока на северо-запад 5 %; с северо-востока на юго-запад 5 %; с северо-запада на юго-восток 1%. Траектории перемещения смерчей с востока на запад и с севера на юг не зафиксированы.

Выводы [2] согласуются и с данными метеорологических наблюдений смерчей в Киевской области. Таким образом, при возникновении смерча в районе расположения ЧАЭС наиболее вероятный сценарий дальнейшего распространения радиоактивной пыли, поднятой с осушенной части пруда-охладителя ЧАЭС, - это последующий атмосферный перенос радионуклидов в направлении границ Беларуси и России.

Краткий обзор результатов моделирования вторичного подъема радиоактивной пыли вследствие прохождения смерча в ЧЗО

После Чернобыльской аварии было выполнено несколько расчетов возможного вторичного загрязнения атмосферы в результате выноса смерчем радиоактивной пыли из объекта «Укрытие». Они отличаются подходами к описанию самого смерча, а также методами моделирования дальней-

© Н. Н. Талерко, Е. К. Гаргер, А. Г. Кузьменко, 2013

шего распространения радиоактивной пыли после его распада. Среди этих работ можно выделить следующие:

1. В [3] предполагалось, что пыль, вынесенная из объекта «Укрытие», практически без осадения переносится смерчевым вихрем на расстояние около 20 км, после чего смерч распадается. Далее атмосферная диффузия радионуклидов рассчитывалась по гауссовой модели. При оценке суммарного выноса из объекта «Укрытие», равной 1,3 млн Ки, получено, что в районе распада смерча плотность выпадений на почву может превысить 5000 Ки/км². Сделан вывод, что ожидаемое при распространении смерча на территорию Беларуси загрязнение близлежащих областей может превысить загрязнение при аварии 1986 г.

2. В [4] при анализе возможных последствий при разрушении объекта «Укрытие» смерчем предполагалось, что вся топливная пыль (500 кг) поднимается к основанию смерча в мезоциклон материнского облака на высоту около 1000 м за 1 мин и далее перемещается в компактном виде в облаке вместе с мезоциклоном. Образовавшееся радиоактивное облако передвигается над пограничным слоем атмосферы и вымывается осадками через 20 мин после распада смерча и мезоциклона. Предполагалось, что вымывается ливневыми осадками 90 % пыли, находящейся в материнском облаке, а остальная топливная пыль поднимается за границу тропосферы и независимо распространяется после распада материнского облака.

При принятых предположениях площадь зоны радиоактивных выпадений составила 16 км² при длине следа порядка 10 км и ширине порядка 1,5 км. Центральная часть зоны радиоактивных выпадений находится на расстоянии от 15 до 45 км от объекта «Укрытие». Плотность выпадений в образовавшемся пятне оценена равной 28 мг/м².

3. В [4, 5] приведены результаты расчетов переноса топливной пыли в ближней и дальней зоне ЧАЭС с использованием модели атмосферного переноса CALPUFF и метеорологических данных, полученных при помощи численной региональной модели прогноза погоды MM5 при приведенных выше в п. 2 предположениях о выносе радионуклидов из объекта «Укрытие». Для моделирования были выбраны погодные условия, сопровождавшие возникновение смерча 11 июня 2001 г. в Житомирской области. Максимальное значение загрязнения вблизи источника оказалось равным 2,5 мг/м², а расчетная плотность выпадений на расстоянии 100 км от объекта «Укрытие» - около 0,001 мг/м².

Модель смерча, использованная для расчетов подъема пыли с территории пруда-охладителя ЧАЭС и ее дальнейшего атмосферного переноса

В дальнейших расчетах последствий трансграничного переноса вследствие подъема пыли с территории пруда-охладителя использована концептуальная модель смерча, рекомендованная в [6]. Модель была использована для оценки радиоактивного загрязнения атмосферы при гипотетической радиационной аварии на предприятии Savannah River Site (США) – разгерметизации контейнера с радиоактивными материалами вследствие прохождения торнадо над территорией предприятия. При этом некоторые значения параметров смерча, использованные в [6], были заменены в соответствии с требованиями документа [7] и климатическими данными для Украины (табл. 1).

Таблица 1. Расчетные характеристики смерча на площадке ЧАЭС [7]

Расчетные характеристики	Значения расчетных характеристик	
	Обеспеченность $1 \cdot 10^{-6}$	Обеспеченность $1 \cdot 10^{-5}$
Расчетный класс вероятного смерча k_p	3,0	1,5
Вероятность превышения	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Максимальная скорость вращения воронки V_p , м/с	81	50
Скорость поступательного движения смерча U_p , м/с	20,3	12,6
Перепад давления между центром и периферией воронки смерча ΔP_p , гПа	81	31,0
Длина пути прохождения смерча L_p , км	28,6	5,0
Ширина следа прохождения смерча W_p , км	0,29	0,05

Модель смерча основана на следующих положениях:

1. Радиоактивная пыль, захватываемая с поверхности земли смерчем с шириной следа W_p (см. табл. 1), проходящим над заданным районом, поднимается в вихревой воронке до высоты нижней

границы $H_{нр}$ материнского кучево-дождевого облака. При этом предполагается, что смешение воздуха вихря с окружающей атмосферой отсутствует. Высота нижней границы $H_{нр}$ смерчеобразующих кучево-дождевых облаков принималась равной 1000 м [8]. Характерное значение вертикальной скорости воздушного потока в вихре принимается равным $W_{up} = 20$ м/с [6]. Тогда время подъема радиоактивных частиц с поверхности земли в кучево-дождевое облако составляет $t_{up} = H_{нр}/W_{up} = 50$ с.

2. Горизонтальная скорость движения смерча U_p принимается равной скорости движения материнского облака [8], которая, в свою очередь, определяется скоростью ветра на высоте нижней границы $H_{нр}$ (соответствующие данные из таблицы 1 не используются).

3. Предполагается, что радиоактивность, поднятая смерчем с поверхности земли, выносится вихревым восходящим потоком в мезоциклон материнского облака, имеющий цилиндрическую форму с диаметром 1000 м и высотой $H_{cloud} = 1000$ м над уровнем нижней границы облака [6]. Вследствие интенсивных вертикальных движений и сильной турбулентности происходит быстрое перемешивание радиоактивных частиц в мезоциклоне. Характерное время такого процесса может быть оценено равным $t_{upcloud} = H_{cloud}/W_{up} = 50$ с. В результате в атмосфере формируется высотное облако радиоактивной примеси с размерами, равными размерам мезоциклона.

4. В модели учитывается наличие компенсирующих нисходящих воздушных потоков, соседствующих с вихревой воронкой смерча. Предполагается, что указанное радиоактивное облако, образовавшееся в мезоциклоне, опускается к поверхности земли с вертикальной скоростью, равной $W_{down} = 10$ м/с и горизонтальной скоростью, равной скорости движения материнского облака.

5. В момент достижения нижним краем облака поверхности земли нисходящие движения прекращаются. Характерное время, в течение которого частицы пыли могут опуститься от уровня вершины облака до поверхности земли, может быть оценено равным $t_{down} = (H_{нр} + H_{cloud}) / W_{down} = 200$ с. Общее время нахождения частицы пыли в смерче составит $t = t_{up} + t_{upcloud} + t_{down} = 300$ с. В результате в точке на расстоянии $s = U_p \cdot t$ от начальной формируется объемный источник радиоактивной примеси диаметром 1000 м и с постоянной по высоте активностью в слое 0 – 1000 м. Для рассматриваемого случая подъема пыли с площадного источника под начальной точкой понимается точка, в которой смерч покидает пределы загрязненной территории, т.е. поступление примеси в воронку смерча прекращается.

Дальнейшее распространение радиоактивной примеси рассчитывается под влиянием ее адвективного переноса и турбулентного перемешивания в пограничном слое атмосферы с помощью мезомасштабной модели атмосферного переноса LEDI [9]. Сформированный объемный источник радиоактивной примеси определяется в расчетах по модели LEDI следующим образом:

а) его начальные координаты принимаются равными координатам точки достижения поверхности земли нисходящим потоком из кучево-дождевого облака (определяемого согласно п. 5).

б) в горизонтальном направлении, перпендикулярном направлению переноса, распределение примеси предполагается нормальным с дисперсией, равной $\sigma_y = 232$ м. Последнее значение выбрано согласно рекомендациям [10], что обеспечивает согласие с заданным диаметром цилиндрического источника 1000 м;

в) в модели LEDI распределение концентрации в облаке примеси по вертикали рассчитывается путем численного решения уравнения турбулентной диффузии. Это позволяет, в отличие от [6], прямо задать в качестве начального условия для LEDI однородное распределение активности по высоте в слое 0 – 1000 м.

Модель LEDI рассчитывает поля объемной активности в воздухе, плотность выпадений на подстилающую поверхность, а также связанные с ними дозы внешнего и внутреннего (за счет ингаляционного поступления радионуклидов) облучения.

Сценарии трансграничного переноса радионуклидов вследствие прохождения смерча над прудом-охладителем ЧАЭС

Согласно [11], при понижении уровня воды в водоеме на 7 м (с 111,0 до 104,0 мБС) будет осушено около 14,8 км² из 21,7 км² зеркала водной поверхности. Оценка запаса радиоактивности на этой площади составляет 61,5 ТБк ¹³⁷Cs, 10,95 ТБк ⁹⁰Sr и 0,11 ТБк плутония [11]. Таким образом, средняя плотность радиоактивного загрязнения этой территории равна $D_{Cs} = 4,16 \cdot 10^6$ Бк/м² для ¹³⁷Cs, $D_{Sr} = 7,40 \cdot 10^5$ Бк/м² для ⁹⁰Sr и $D_{Pu} = 7,43 \cdot 10^3$ Бк/м² для плутония.

Можно оценить, что при указанном понижении уровня воды в водоеме вдоль береговой линии образуется полоса осушенной территории шириной около $L_{dry} = 750$ м.

В дальнейшем анализе рассмотрены три сценария, при которых происходит подъем радио-

нуклидов смерчем с осушенной части пруда-охладителя ЧАЭС и в дальнейшем (после распада смерча) их перенос на: 1) север (территория Беларуси); 2) северо-восток (территория России); 3) восток (территория Беларуси).

Метеорологические условия, описывающие возникновение смерча, были выбраны из анализа 19 ситуаций, при которых наблюдались смерчи в Киевской области, а также в соседних Житомирской, Черкасской и Черниговской областях на протяжении 1969 - 2012 гг. Среди них были отобраны три набора погодных условий образования смерчей, наиболее соответствующих по траекториям переноса воздушных масс указанным выше направлениям. Источник выброса соответствовал координатам и времени прохождения каждого из этих смерчей, а расчетные поля объемной и поверхностной активности переносились так, чтобы местоположение источника выброса совпадало с географическими координатами территории пруда-охладителя ЧАЭС.

В результате проведенного анализа сформировано следующие сценарии.

Сценарий А. Перенос на север (территория Беларуси). В качестве метеорологических условий выбрана ситуация, сопровождавшая возникновение трех смерчей 26 июня 2007 г. в Городищенском, Смелянском и Черкасском районах Черкасской области. Поля ветра и температуры воздуха задавались согласно результатам радиозондирования атмосферы, проводившихся аэрологической станцией Киева. Во время образования смерча ветер был южным со скоростью 5 - 10 м/с в слое 0 - 1000 м. Метеостанцией в г. Смела в период наблюдения смерча зафиксированы атмосферные осадки интенсивностью 1,4 мм/ч.

Для оценки активности, поднимаемой смерчем в воздух с поверхности осушенной части пруда-охладителя, консервативно предполагалось, что смерч проходит параллельно большей оси водоема длиной $L = 11,5$ км с юга на север по одному из осушенных берегов. Поскольку ширина следа прохождения смерча 3-го класса $W_p = 290$ м меньше ширины полосы осушенной территории L_{dry} , то можно считать, что он пройдет над осушенной территорией площадью $S = L \cdot W_p = 3,34$ км². Предполагалось, что смерч полностью поднимает всю активность, находящуюся на площади S . Оценка активности, захваченной воронкой смерча и поднятой в воздух, составила $Q = D \cdot S$, т.е. $Q_{Cs} = 1,39 \cdot 10^{13}$ Бк, $Q_{Sr} = 2,47 \cdot 10^{12}$ Бк, $Q_{Pu} = 2,48 \cdot 10^{10}$ Бк. Координаты начальной точки при моделировании принимались равными $51^\circ 24'$ с.ш., $30^\circ 07'$ в.д. (местоположение северного края водоема).

Сценарий В. Перенос на восток (территория Беларуси). В качестве метеорологических условий выбрана ситуация образования смерча, зафиксированного около 15 час. 11.06.2001 г. в Коростышевском, Попельнянском и Брусиловском районах Житомирской области. Поля ветра и температуры воздуха задавались согласно результатам радиозондирования атмосферы, проводившихся аэрологическими станциями в Киеве и Шепетовке. В период существования смерча ветер был западным – юго-западным со скоростью 10 - 13 м/сек в слое 0-1000 м. В это время метеостанцией в г. Житомир зафиксированы осадки интенсивностью 4,4 мм/час.

Консервативно предполагалось, что смерч проходит перпендикулярно большей оси водоема с запада на восток. При этом он захватывает территорию на обоих осушенных берегах общей площадью $S = 2 \cdot L_{dry} \cdot W_p = 0,435$ км² и полностью поднимает всю активность, находящуюся на этой площади. Оценка активности, захваченной воронкой смерча с осушенной территории и поднятой в воздух, составила $Q = D \cdot S$, т.е. $Q_{Cs} = 1,81 \cdot 10^{12}$ Бк, $Q_{Sr} = 3,22 \cdot 10^{11}$ Бк, $Q_{Pu} = 3,23 \cdot 10^9$ Бк. Вкладом активности, находящейся в воде, которая захватывается воронкой смерча, пренебрегалось. Координаты начальной точки при моделировании принимались равными $51^\circ 20' 30''$ с.ш., $30^\circ 11' 30''$ в.д. (точка на восточном берегу водоема).

Сценарий С. Перенос на северо-восток (территория России). В качестве метеорологических условий выбрана ситуация образования смерча, зафиксированного в 17 ч 24 мин 26 июля 1987 г. в Тетиевском районе Киевской области. Поля ветра и температуры воздуха задавались согласно результатам радиозондирования атмосферы, проводившихся аэрологической станцией в Киеве. В период существования смерча ветер был западным – юго-западным со скоростью 4 - 11 м/с в слое 0 - 1000 м и 18 - 19 м/с на высотах 4 - 5 км. В это время метеостанцией в г. Белая Церковь зафиксированы слабые атмосферные осадки интенсивностью 0,15 мм/ч. Однако в данном сценарии для консервативности оценок радиоактивного загрязнения в удаленных от источника районах России предполагается, что осадки отсутствуют.

Оценка активности, поднимаемой смерчем в воздух с поверхности осушенной части пруда-охладителя, для этого сценария аналогична сценарию В.

Для всех трех сценариев распределение активности по размерам аэрозольных частиц, поднятых в воздух смерчем, задавалось согласно [11] (в предположении, что распределения по размерам

частиц в воздухе и в донных отложениях водоема тождественны).

Результаты расчетов

Сценарий А. Перенос на север (территория Беларуси). Поле плотности выпадений ^{137}Cs , рассчитанное с помощью концептуальной модели смерча и диффузионной модели LEDI, приведено на рис. 1. Максимальные плотности радиоактивных выпадений от радиоактивного облака, поднятого смерчем, на территории Беларуси получены вблизи границы с Украиной на территории Полесского радиационно-экологического заповедника – около 35 кБк/м^2 ^{137}Cs , 6 кБк/м^2 ^{90}Sr и $0,06 \text{ кБк/м}^2$ плутония (расстояние от водоема 11 км).

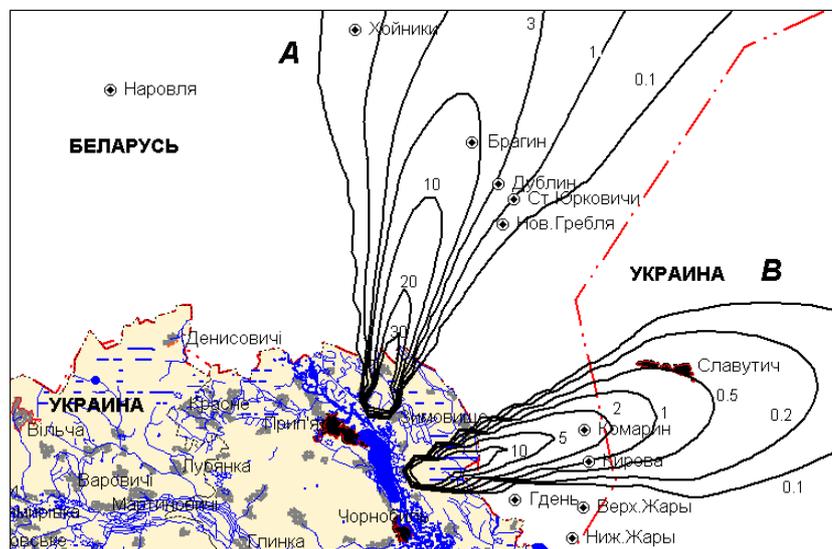


Рис. 1. Расчетные поля плотности выпадений ^{137}Cs (кБк/м²) в результате прохождения радиоактивных облаков, поднятых смерчами (сценарии А и В).

Далее при выбранном метеорологическом сценарии радиоактивное облако распространяется на северо-восток через территорию Брагинского района Гомельской области. Оценки доз облучения населения ближайших к ЧАЭС населенных пунктов Беларуси на территории радиоактивного следа, сформированного после его прохождения, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Расчетные характеристики последствий прохождения радиоактивного облака, поднятого смерчем, для ближайших к водоему ЧАЭС населенных пунктов Беларуси (сценарий А)

Населенный пункт	Расстояние до водоема ЧАЭС, км	Расчетная плотность выпадений, кБк/м ²			Фактическая плотность выпадений, кБк/м ² (по состоянию на 2012 г.)		Доза внешнего облучения от радиоактивного облака, мкЗв	Доза внутреннего облучения от ингаляции (взрослые), мкЗв
		^{137}Cs	^{90}Sr	Pu	^{137}Cs	^{90}Sr		
Нов. Гребля	35	0,52	0,09	$9,3 \cdot 10^{-4}$	67	16	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-2}$
Ст. Юрковичи	39	0,97	0,17	$1,7 \cdot 10^{-3}$	79	16	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$
Дублин	40	2,62	0,46	$4,7 \cdot 10^{-3}$	186	16	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-1}$
Брагин	43	5,51	0,98	$9,8 \cdot 10^{-3}$	411	38	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$7,3 \cdot 10^{-1}$
Хойники	57	0,42	0,07	$7,5 \cdot 10^{-4}$	79,6	20,9	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$

Дополнительное увеличение радиоактивного загрязнения территории указанных населенных пунктов, обусловленное прохождением радиоактивного облака, (относительно плотности Чернобыльских выпадений, скорректированных на 2012 г.) составит 0,5 – 1,4 % по цезию и 0,4 – 2,8 % по стронцию.

За пределы Украины в этом случае выносятся около 90 % поднятой смерчем активности, т.е. $1,25 \cdot 10^{13}$ Бк ^{137}Cs , $2,21 \cdot 10^{12}$ Бк ^{90}Sr и $2,22 \cdot 10^{10}$ Бк плутония.

Сценарий В. Перенос на восток (территория Беларуси). На рис. 1 приведено расчетное поле плотности выпадений ^{137}Cs , обусловленного выпадениями радиоактивных аэрозолей, поднятых смерчем с территории пруда, при дальнейшем их переносе на восток. В этом случае радиоактивному загрязнению могут подвергнуться населенные пункты южной части Брагинского района Гомельской

области. Максимальные плотности радиоактивных выпадений от радиоактивного облака на границе с Украиной (расстояние от водоема около 11 км) составили 30 кБк/м² ¹³⁷Cs, 5 кБк/м² ⁹⁰Sr и 0,05 кБк/м² плутония.

Оценки доз облучения населения ближайших к ЧАЭС населенных пунктов Беларуси на территории радиоактивного следа, сформированного после его прохождения, приведены в табл. 3.

Таблица 3. Расчетные характеристики последствий прохождения радиоактивного облака, поднятого смерчем, для ближайших к водоему ЧАЭС населенных пунктов Беларуси (сценарий В)

Населенный пункт	Расстояние до водоема ЧАЭС, км	Расчетная плотность выпадений, кБк/м ²			Фактическая плотность выпадений, кБк/м ² (по состоянию на 2012 г.)		Доза внешнего облучения от радиоактивного облака, мкЗв	Доза внутреннего облучения от ингаляции (взрослые), мкЗв
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Pu	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr		
Кирово	28	0,90	0,16	1,6·10 ⁻³	34	20	5,0·10 ⁻⁴	1,1·10 ⁻¹
Комарин	28	3,10	0,55	5,5·10 ⁻³	80	21	1,8·10 ⁻³	3,4·10 ⁻¹
Гдень*	18	9,30	1,66	1,7·10 ⁻²	65	24	5,4·10 ⁻³	1,0·10

* Оценка получена для измененного направления переноса радиоактивного облака.

При заданных метеорологических условиях в область радиоактивного следа попадают два населенных пункта – пгт Комарин и деревня Кирово. Поскольку наиболее близко к водоему ЧАЭС расположена деревня Гдень, для нее также были выполнены оценки возможного радиоактивного загрязнения. Для этого расчетное поле было повернуто так, чтобы ось радиоактивного следа прошла через населенный пункт. Результаты таких оценок также представлены в табл. 4.

Дополнительное увеличение радиоактивного загрязнения территории указанных населенных пунктов, обусловленное прохождением радиоактивного облака, (относительно плотности чернобыльских выпадений, скорректированных на 2012 г.) составило 2,7 – 14,4 % по цезию и 0,8 – 6,8 % по стронцию.

На территории Беларуси в этом случае (преимущественно за счет вымывания радиоактивных аэрозолей интенсивным дождем) осаждается около 36 % поднятой смерчем активности, т.е. 6,52·10¹¹ Бк ¹³⁷Cs, 1,16·10¹¹ Бк ⁹⁰Sr и 1,16·10⁹ Бк плутония. Далее при выбранном метеорологическом сценарии радиоактивное облако распространяется на территорию Черниговской области.

Сценарий С. Перенос на северо-восток (территория России). Поле плотности выпадений ¹³⁷Cs, рассчитанное с помощью модели смерча и диффузионной модели LEDI для трансграничного переноса на территорию России, приведено на рис. 2.

Оценки доз облучения населения ближайших к ЧАЭС населенных пунктов России (Злынковского и Климовского районов Брянской области) на радиоактивном следе, сформированного после прохождения радиоактивного облака, приведены в табл. 4.

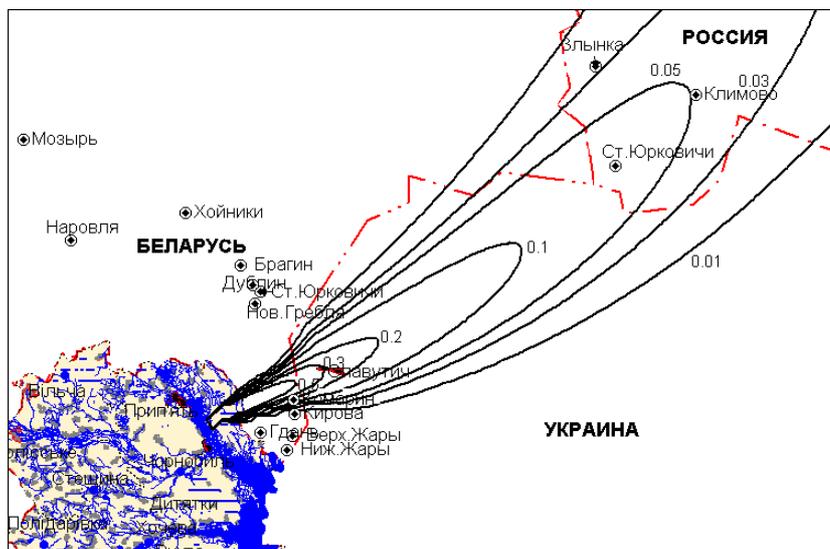


Рис. 2. Расчетное поле плотности выпадений ¹³⁷Cs (кБк/м²) в результате прохождения

радиоактивного облака, поднятого смерчем (сценарий С).

Таблица 4. Расчетные характеристики последствий прохождения радиоактивного облака, поднятого смерчем, для ближайших к водоему ЧАЭС населенных пунктов России (сценарий С)

Населенный пункт	Расстояние до водоема ЧАЭС, км	Расчетная плотность выпадений, кБк/м ²			Фактическая плотность выпадений, кБк/м ² (по состоянию на 2012 г.)		Доза внешнего облучения от радиоактивного облака, мкЗв	Доза внутреннего облучения от ингаляции (взрослые), мкЗв
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Pu	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr		
Злынка	158	0,027	0,0047	4,8·10 ⁻⁵	598	-	6,5·10 ⁻⁵	1,4·10 ⁻²
Ст.Юрковичи	147	0,068	0,0121	1,2·10 ⁻⁴	32	-	1,7·10 ⁻⁴	3,6·10 ⁻²
Климово	179	0,049	0,0088	8,8·10 ⁻⁵	189	-	1,2·10 ⁻⁴	2,8·10 ⁻²

Дополнительное увеличение радиоактивного загрязнения территории указанных населенных пунктов, обусловленное прохождением радиоактивного облака (относительно плотности чернобыльских выпадений, скорректированных на 2012 г.) составляет 0,004 – 0,2 % по цезию.

На территорию России выносятся около 70 % поднятой смерчем активности, т.е. 1,26·10¹² Бк ¹³⁷Cs, 2,25·10¹¹ Бк ⁹⁰Sr и 2,26·10⁹ Бк плутония.

Выводы

Оценки трансграничного выноса радионуклидов с территории осушенной части водоема-охладителя ЧАЭС проведены для случаев возникновения смерча 3-го класса (по шкале Фуджиты) в ЧЗО. Проведенные расчеты показали:

1) в случае прохождения смерча над осушенной частью пруда-охладителя и дальнейшего атмосферного переноса пыли на территории сопредельных с Украиной стран максимально возможное увеличение плотности выпадений по сравнению с фактическим не превысит 1,4 % по цезию и 2,8 % по стронцию в ближайших к ЧЗО населенных пунктах Беларуси и 0,% по цезию в населенных пунктах России;

2) доза внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов в организм человека для жителей ближайших населенных пунктов Беларуси оценена в пределах 0,1 – 1 мкЗв, России – порядка 10⁻² мкЗв;

3) доза внешнего облучения от воздушной компоненты для жителей ближайших населенных пунктов Беларуси оценена как 10⁻³ – 10⁻⁴ мкЗв, России – порядка 10⁻⁴ мкЗв.

Таким образом, в случае возникновения смерча над водоемом-охладителем ЧАЭС консервативно полученная оценка суммарного дозового эффекта для жителей ближайших населенных пунктов Беларуси на 3 порядка, а России на 5 порядков меньше установленного Нормами радиационной безопасности этих стран (НРБ-2000 и НРБ-99 соответственно) предела эффективной дозы для населения 1 мЗв в год.

Такие же дозы облучения население ближайших населенных пунктов Беларуси и России может получить в случае прохождения смерча 3-го класса над территорией ЧЗО со средней плотностью загрязнения почвы ¹³⁷Cs 1700 кБк/м², ⁹⁰Sr 300 кБк/м² и плутонием 3 кБк/м². Фактическое загрязнение значительной части ЧЗО в Украине и Полесского заповедника в Беларуси существенно превышает эти значения.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о практически незначимом влиянии последствий осушения территории водоема-охладителя на величину возможного трансграничного переноса радионуклидов при прохождении смерча в ЧЗО, а также связанные с ним последствия для здоровья населения Беларуси и России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюхань Ф.Ф., Ляхов М.Е., Погребняк В.Н. Смерчеопасные зоны в СССР и размещение атомных станций // Изв. АН СССР. Сер. географ. - 1989. - № 1. - С. 40 - 48.
2. Снитковский А. И. Смерчи на территории СССР // Метеорология и гидрология. - 1987. - № 9. - С. 12 - 25.

3. *Beskorovajnyj V.P., Kotovich V.V., Molodykh V.G. et al.* Radiation Consequences of Collapse of Structural Elements of the Sarcophagus // "Sarcophagus Safety '94". The State of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4. Proceedings of International Symposium Zeleny Mys, Chernobyl, Ukraine, 14 - 18 March 1994.
4. *Оценка радиологических последствий при потере герметичности: (Отчет о НИР) / SIP-I-SC-21-310-SAR-005-01.* - 2004.
5. *Количественная оценка радиоактивных выпадений, вызванных потенциальным разрушением нового безопасного конфайнмента под воздействием смерча класса F 3.0 / В. И. Богорад, М. И. Железняк, И. В. Ковалец и др. // Ядерная и радиационная безопасность. – 2006. – Вып. 1. – С. 28 – 34.*
6. *Weber A.H., Hunter C.H.* Estimating Dispersion from a Tornado Vortex and Mesocyclone WSRC-TR-94-0386 / Westinghouse Savannah River Company. – 1996. – 33 p.
7. *Наказ Держбуду України № 64 від 21.10.2002 «Основні нормативні вимоги та розрахункові характеристики смерчів майданчика Чорнобильської АЕС».*
8. *Ромов А.И., Шишкин Н.С., Сосновская Р.П., Железняк О.М.* Смерчи на Украине 30 мая 1985 г. // *Метеорология и гидрология. – 1987. - № 2. – С. 27 - 36.*
9. *Талерко М.М., Гаргер Є.К., Ключников О.О.* Прогнозирование последствий аварийных выбросов из объектов атомной энергетики с помощью мезомасштабной модели атмосферного переноса LEDI // *Доп. НАН України. – 2010. - № 12. –С. 74 - 79.*
10. *Pasquill F., Smith F.B.* Atmospheric diffusion. - N.Y.: Halsted Press, 1983.
11. *Пояснительная записка к Техническому решению «Про визначення критичних подій, які мають бути розглянуті при розробці проектної документації на виведення з експлуатації водоймища-охолоджувача Чорнобильської АЕС і вимог щодо радіаційних критеріїв кінцевого стану території».* – 2012. – 7 с.

М. М. Талерко, Є. К. Гаргер, Г. Г. Кузьменко

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, корп. 106, Київ, 03028, Україна

ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ТРАНСКОРДОННОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ УНАСЛІДОК ПРОХОДЖЕННЯ СМЕРЧУ НАД ВОДОЙМОЮ-ОХОЛОДЖУВАЧЕМ ЧАЕС

Виконано прогноз можливого радіоактивного забруднення території Білорусі та Росії внаслідок атмосферного перенесення радіонуклідів, піднятих з осушеної території водойми-охолоджувача ЧАЕС при проходженні смерчу в чорнобильській зоні відчуження. Розрахунки проведено за допомогою комплексу моделей, що включає концептуальну модель смерчу, мезомасштабну дифузійну модель атмосферного перенесення домішки та блока дозиметричних моделей. Отримано, що в найближчих населених пунктах Білорусі та Росії збільшення щільності випадіння не перевищить 1-2 % у порівнянні з фактичним. Доза опромінення для жителів Білорусі не перевищить 1 мкЗв, Росії - 10^{-2} мкЗв.

Ключові слова: водойма-охолоджувач ЧАЕС, смерч, моделі розповсюдження радіонуклідів в атмосфері, радіоактивні аерозолі, трансграничне перенесення.

M. M. Talerko, E. K. Garger, G. G. Kuzmenko

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, 12, Lysogirska str., building 106, Kyiv, 03028, Ukraine

PROGNOSTIC ASSESSMENT OF RADIONUCLIDES TRANSBOUNDARY TRANSPORT DUE TO A TORNADO OVER THE CHERNOBYL NPP COOLING POND

According the design documentation for the Chernobyl NPP Cooling Pond (CP) decommissioning a forecast of possible radioactive contamination of the territory of Belarus and Russia due to radionuclides resuspension followed a tornado passage over the CP drained part are made. The calculations were performed using a set of models, including the conceptual model of a tornado, the mesoscale atmospheric diffusion model of pollutant transport LEDI and dosimetric models. The activity raised by a tornado vortex of intensity F3 from the CP drained part was assessed as 13.9 TBq ^{137}Cs , 2.47 TBq ^{90}Sr , 0.0248 TBq Pu. Depending on the chosen meteorological scenario an maximal additional density deposition on the territory of Belarus (in Polesye State Radiation Ecological Reserve) was assessed as 35 kBq m^{-2} ^{137}Cs , 6 kBq m^{-2} ^{90}Sr and 0.06 kBq m^{-2} Pu, whereas in the nearest settlements of Belarus and Russia - 5 - 9 kBq m^{-2} ^{137}Cs , 1.0 - 1.7 kBq m^{-2} ^{90}Sr and 10 - 17 Bq m^{-2} Pu, i.e. it isn't exceed 1-2 % of the actual one. The radiation dose to the people of Belarus will not exceed 1 mSv, Russia - 10^{-2} mSv. Hence, the safety analysis showed that a tornado passage over the CP will not result in an unacceptable dose to individuals in Belarus and Russia.

Keywords: cooling pond of the Chernobyl nuclear power plant, tornado, radionuclides atmospheric transport model, radioactive aerosols, transboundary transport.

REFERENCES

1. *Bryuhan F.F., Lyakhov M.E., Pogrebnyak V.N.* Tornado dangerous areas in the USSR and placement of nuclear power plants // *Izvestiya Akademii Nauk., Seriya Geograficheskaya.* - 1989. - № 1. - P. 40-48. (Rus)
2. *Snitkovskiy A. I.* Tornadoes on the USSR territory // *Meteorologiya i gidrologiya.* – 1987. - № 9. - P. 12–25. (Rus)
3. *Beskorovajnyj V.P., Kotovich V.V., Molodykh V.G. et al.* Radiation Consequences of Collapse of Structural Elements of the Sarcophagus // “Sarcophagus Safety ‘94”. The State of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4. Proceedings of International Symposium Zeleny Mys, Chernobyl, Ukraine, 14 - 18 March 1994.
4. *Assessment of the radiological consequences of the loss of integrity (Research report) / SIP-I-SC-21-310-SAR-005-01.* - 2004. (Rus)
5. *Quantitative assessment of radioactive fallout caused by the potential destruction of the New Safe Confinement under the influence tornado class F 3.0 / V. I. Bogorad, M. I. Zheleznyak, I. V. Kovalets et al.* // *Yadernaya i radiacionnaya bezopasnost.* – 2006. – No. 1. – P. 28–34. (Rus)
6. *Weber A.H., Hunter C.H.* Estimating Dispersion from a Tornado Vortex and Mesocyclone WSRC-TR-94-0386 / Westinghouse Savannah River Company.– 1996. – 33 p.
7. *Decree of Construction Committee of Ukraine № 64 from 21.10.2002 "Basic regulatory requirements and computational properties of tornadoes in the Chernobyl site."* (Rus)
8. *Romov A.I., Shishkin N.S., Sosnovskaya R.P., Zheleznyak O.M.* Tornadoes in Ukraine on 30 May 1985 // *Meteorologiya i gidrologiya.* – 1987. - № 2. – P. 27 - 36. (Rus)
9. *Talerko N.N., Garger E.K., Klyuchnikov A.A.* Prediction of the consequences of accidental releases from nuclear power plants with the help of the mesoscale atmospheric transport model LEDI // *Dopovidi Nacionalnoyi akademiyi nauk Ukrainy.* – 2010. - № 12. –P. 74 - 79. (Rus)
10. *Pasquill F., Smith F.B.* Atmospheric diffusion. - N.Y.: Halsted Press, 1983.
11. *Explanatory note to the technical solution "On the determination of critical events that must be considered in the development of project documentation for the decommissioning of the cooling pond of the Chernobyl NPP and radiological criteria requirements for end-state territory".* – 2012. – 7 p. (Ukr)

Надійшла 20.02.2013
Received 20.02,2013