

Реконструкция параметров радиозоологической модели по результатам мониторинга радиационной обстановки в Мазовии после аварии на ЧАЭС (по материалам «Варшавского» сценария проекта МАГАТЭ EMRAS)

О.К. Власов¹, И.А. Звонова², П. Краевский³, Н.В. Щукина¹, С.Ю. Чекин¹, К.А. Туманов¹

¹ Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Национального медицинского исследовательского центра Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

² Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

³ Центральная лаборатория радиологической защиты, Варшава, Польша

В работе проанализирована согласованность входных данных радиозоологической модели: результатов измерений концентрации ^{137}Cs и ^{131}I в атмосфере после аварии на Чернобыльской АЭС в г. Варшава, метеоданных об осадках в период основных радиоактивных выпадений, значений минимальных плотностей выпадений ^{137}Cs на территориях двух молочных районов Warsaw Area и Ostroleka Area в центральной части Мазовии. Согласно метеоданным, в Warsaw Area в период радиоактивных выпадений местами прошли локальные дожди. В Ostroleka Area, согласно данным всех метеостанций, осадков в этот период не было. Установлено, что в Warsaw Area минимальная плотность выпадений ^{137}Cs , равная 1,3 кБк/м², с погрешностью менее 10% согласуется с плотностью «сухих» выпадений ^{137}Cs (1,2 кБк/м²), реконструированных имитационной агроклиматической моделью по данным измерений концентрации ^{137}Cs в атмосфере. Такое согласие с учетом количества осадков, зарегистрированных на метеостанциях, в период радиоактивных выпадений и значительный (более 10 раз) разброс плотностей выпадений ^{137}Cs по территории района Warsaw Area, предполагает, что для этого региона при радиозоологическом моделировании предпочтительнее использовать модель однородного облака – неоднородных осадков. Для района Ostroleka Area разброс плотностей выпадений ^{137}Cs оказался сравнительно небольшим – 3,2, а расчетная плотность сухих выпадений ^{137}Cs была в 2,0–2,7 раза меньше измеренных минимальных плотностей выпадений в округах и населенных пунктах. Такое расхождение с учетом отсутствия осадков, зарегистрированного всеми метеостанциями в период радиоактивных выпадений, послужило основанием для предположения о том, что концентрации ^{137}Cs и ^{131}I в атмосфере Ostroleka Area были в 2–2,7 раза больше, чем в Warsaw Area. Введенную на основании этого корректировку значений концентраций ^{137}Cs и ^{131}I в атмосфере Ostroleka Area для этого района предполагается верифицировать с помощью результатов измерений удельных активностей ^{131}I в молоке согласно «Варшавскому» сценарию.

Ключевые слова: авария на ЧАЭС, проект МАГАТЭ «EMRASS», «Варшавский» сценарий, имитационная агро-радио-экологическая модель, ^{137}Cs и ^{131}I в атмосфере, «сухие» и «влажные» выпадения, плотность выпадения ^{137}Cs .

Введение

Настоящая работа является третьей в серии работ авторов, посвященной исследованиям динамики транспорта радионуклидов ^{137}Cs и ^{131}I по трофической цепочке: атмосфера – почва – растительность – корова – молоко – организм человека методом имитационного радиозоологического моделирования на основе экспериментальных данных, полученных после аварии на ЧАЭС [1, 2].

Первая работа этой серии [1] посвящена описанию технологии и созданию базы входных данных расчетной модели для регионов Мазовии (Польша) и Богемии (Чехия): временные зависимости концентрации ^{137}Cs в атмосфере и их средние значения за период основных выпадений, количество осадков в период выпадений и плотности выпадения ^{137}Cs на почву. Для взаимного согласования этого набора данных использовались 3 модели: прямого расчёта, модель «однородное облако – неодно-

Власов Олег Константинович

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба

Адрес для переписки: 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Королёва, д. 4; E-mail: vlasov@nrer.ru

родные осадки» и модель «неоднородное облако – однородные осадки» (см. Приложение).

В работе [1] было показано, что в целом для населенных пунктов исследуемых регионов Мазовии и Богемии прямой расчет плотностей выпадения ^{137}Cs по модели несогласованных данных (однородное облако – метеоданные об осадках на ближайших к ним метеостанциях) дает существенное отличие (до семи раз), как от инструментальных измерений плотностей выпадения ^{137}Cs , так и от результатов, полученных с помощью моделей, использующих согласованные данные: однородное облако – неоднородные эффективные осадки и неоднородное облако – однородные осадки по данным ближайших метеостанций. Причем отличие было тем больше, чем больше плотность выпадений ^{137}Cs . Вывод, сделанный на основе этих расхождений [1], заключался в том, что взаимное согласование данных агроэкологических имитационных моделей, концентраций ^{137}Cs в атмосфере, плотностей выпадения ^{137}Cs и количества осадков в период выпадений, приводящее к адекватному воспроизведению инструментальных данных о плотностях выпадений ^{137}Cs на местность, должно привести к существенному уменьшению неопределенностей транспорта ^{137}Cs и ^{131}I по пищевой цепочке и, как следствие, к более точной реконструкции доз внутреннего облучения населения загрязненных территорий.

Это предположение было проверено на данных «Варшавского» сценария проекта «EMRAS», разработанного МАГАТЭ на основе экспериментальных данных, полученных после аварии на Чернобыльской АЭС, для сравнения разных радиозоологических моделей оценки доз облучения населения в аварийных ситуациях [3]. В «Варшавском» сценарии были представлены различные данные мониторинга радиационной обстановки в двух районах молочного производства Мазовии (область Польши) – Warsaw Area и Ostroleka Area и города Варшавы.

На рисунке 1 показано расположение провинции Мазовия относительно Чернобыля и двух молочных округов Warsaw и Ostroleka в Мазовии. Видно, что размеры молочных районов Мазовии малы (≈ 50 км) по сравнению с расстоянием от этих районов до Чернобыльской АЭС (≈ 500 км) и сопоставимы с расстояниями между их центрами (≈ 60 км). Поэтому в первом приближении в [2] было принято предположение о пространственной однородности параметров радиоактивного загрязнения атмосферы в обоих районах. Однако это приближение приводило для района Ostroleka к рассогласованию метеоданных об осадках за период основных выпадений и ин-

струментальных данных о плотностях выпадения цезия с результатами их модельной реконструкции.

Цель исследования – для устранения этих расхождений на основе инструментальных данных «Варшавского» сценария выполнить исследование по применению моделей однородного облака – неоднородных осадков и неоднородного облака – однородных осадков к описанию процесса формирования радиоактивного загрязнения территории Warsaw Area и Ostroleka Area (Мазовия, Польша) после аварии на ЧАЭС с учетом измерений концентраций радионуклидов ^{137}Cs и ^{131}I в атмосфере в районе г. Варшавы.

Материалы и методы

В качестве исходных данных использовали данные мониторинга о плотностях выпадений ^{137}Cs в населенных пунктах Warsaw и Ostroleka районов Мазовии и данные о количестве осадков с метеостанций этих районов. Для реконструкции концентрации радионуклидов ^{137}Cs и ^{131}I в атмосфере над двумя молочными районами Мазовии использовали результаты атмосферных измерений в г. Варшава.

Исследования и анализ инструментальных данных проводились с использованием имитационной агрорадиоэкологической модели [7].

Результаты и обсуждение

Инструментальные данные плотностей выпадения ^{137}Cs в Warsaw Area указывают на их относительную пространственную однородность, в пределах $1,3\text{--}8,0$ кБк/м², за исключением двух пятен повышенного загрязнения ($22,7$ и $10,8$ кБк/м²), где были локальные осадки 30 апреля 1986 г. В Ostroleka Area осадков в дни радиоактивных выпадений 29, 30 апреля 1986 г., по данным всех трех метеостанций, на его территории не было. Плотность выпадения ^{137}Cs здесь была близка к значению «сухих» выпадений на территориях вокруг г. Варшавы (около $4\text{--}5$ кБк/м²). Местами на территории Мазовии прошли небольшие локальные дожди, не оказавшие значимого влияния на выпадения радиоактивных продуктов аварии на ЧАЭС.

В «Варшавском» сценарии приведена информация о плотностях выпадений ^{137}Cs в 27 населенных пунктах (НП) центральной части Мазовии, о координатах расположения метеостанций и метеопостов и зарегистрированных там осадках; о минимальных, максимальных и средних плотностях выпадений ^{137}Cs во всех округах районов

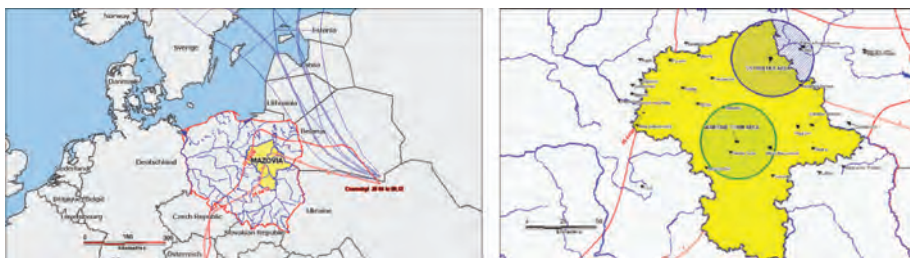


Рис. 1. Локализация провинции Мазовия в Европе и молочных районов Warsaw area и Ostroleka area в Мазовии
[Fig. 1. Location of the Mazovia province in Europe, and milk Warsaw area and Ostroleka area in the Mazovia province]

Warsaw и Ostoleka (молочный район состоит из молочных округов – аналогов территорий выпаса молочных ферм, включая расположенные там населенные пункты).

Отметим следующие основные особенности, полученные в результате обработки исходных данных, которые оказались одинаковыми для населенных пунктов и молочных округов:

- незначительные (в пределах 30%) различия в средних плотностях выпадения ^{137}Cs в молочных районах;

- плотность «сухих» выпадений ^{137}Cs , оцененная по модели прямого расчета с инструментальными данными его активности в атмосфере ($1,28 \text{ kBq/m}^2$), в пределах 10–35% совпадает с фактическими минимальными плотностями выпадений в районах Warsaw и других районов за пределами Warsaw и Ostoleka, и на 25% отличается от средних минимальных плотностей в этих районах;

- в населенных пунктах Ostroleka Area минимальная плотность выпадений ^{137}Cs в НП превышает расчётную плотность «сухих» выпадений в 2,7 раза, а в молочных округах – в 1,7 раза;

- разброс отношений максимальных к минимальным плотностям выпадения ^{137}Cs в Warsaw Area весьма значителен и равен 17,7 раза для населенных пунктов и 10,7 раза для округов, для Ostoleka Area разброс этих отношений существенно меньше и равен 2,1 раза для населенных пунктов и 3,25 раза для молочных округов;

- по метеоданным 9 метеостанций и метеопостов, в молочном районе Warsaw Area разброс осадков за период основных выпадения, составил от 0 мм до 7–10 мм, в молочном районе Ostoleka Area, по метеоданным 3 метеостанций, осадков за этот же период времени не было.

Из этого можно сделать следующие выводы:

- существенная вариабельность плотностей выпадения ^{137}Cs в молочном районе Warsaw Area и наличие осадков, зафиксированных на метеостанциях в период основных радиоактивных выпадений, дают дополнительные основания для предпочтительного использования модели однородного облака – неоднородных осадков над

всем этим районом для всех населенных пунктов и молочных округов этого района;

- в молочном районе Ostoleka Area, в котором не проводились измерения в атмосфере и не были зафиксированы осадки в период основных выпадений, минимальная измеренная плотность выпадений ^{137}Cs оказалась более чем в 2 раза больше плотности «сухих» выпадений, реконструированных по агроклиматической модели [7] с использованием измерений удельных активностей ^{137}Cs в атмосфере в районе Варшавы;

- такое расхождение с учетом отсутствия осадков в период радиоактивных выпадений послужило основанием для предположения о том, что, несмотря на малые размеры обоих районов и расстояний между ними по сравнению с расстоянием от этих районов до Чернобыльской АЭС, активности ^{137}Cs и ^{131}I в атмосфере Ostroleka Area были в 2–3 больше, чем в Warsaw Area. Это может быть объяснено как динамикой прохождения радиоактивного облака через территорию Мазовии (сначала над районом Ostroleka Area, а затем над районом Warsaw Area), так и различиями в расстояниях этих районов от оси радиоактивного следа, а также пространственной неоднородностью облака, обусловленной турбулентными процессами в атмосфере;

- после введения такой корректировки для Ostroleka Area степень согласия входных данных имитационной модели с измерениями становится такой же, как и для Warsaw Area. Однако, с учетом отсутствия осадков на всех его метеостанциях в период радиоактивных выпадений и сравнительно малого разброса плотностей выпадений ^{137}Cs , предполагается в качестве еще одного варианта модель неоднородного облака с «сухими» выпадениями на всей территории этого района.

В таблице и на рисунке 2 представлены варианты наборов входных данных моделей активностей ^{137}Cs в атмосфере на примере населенного пункта Ostroleka (метеостанция – Ostroleka, район Ostroleka Area).

Данные таблицы показывают, что в варианте с инструментальными данными динамики активности ^{137}Cs

Таблица

Параметры входных данных для района Ostroleka

[Table

[Input parameters for Ostroleka Area]

Параметр [parameter]	Прямые данные активности ^{137}Cs в атмосфере, $k_{\text{cloud0}}=1,1$ [Direct data on the ^{137}Cs activity in the atmosphere, $k_{\text{cloud0}}=1,1$]			Пересчитанные данные активности ^{137}Cs в атмосфере, $k_{\text{cloud0}}=1,72$ [Recalculated data of ^{137}Cs activity in the atmosphere, $k_{\text{cloud0}}=1,72$]		
	прямой расчет [direct calculation]	неоднородное облако [heterogeneous cloud]	однородное облако [homogeneous cloud]	прямой расчет [direct calculation]	неоднородное облако [heterogeneous cloud]	однородное облако [homogeneous cloud]
$\sigma\text{Cs}_{\text{dep}}^*$, kBq/m^2 [$\sigma\text{Cs}_{\text{dep}}^*$, kBq/m^2]				3,1		
$\text{Rain}_{\text{meteo}}^*$, мм/сутки [$\text{Rain}_{\text{meteo}}^*$, mm/day]				0		
k_{cloud}	1	2,72	1	1	1,6	1
$\sigma\text{Cs}_{\text{rec}}^*$, kBq/m^2 [$\sigma\text{Cs}_{\text{rec}}^*$, kBq/m^2]	1,2	3,1	3,1	2,0	3,1	3,1

Параметр [parameter]	Прямые данные активности ^{137}Cs в атмосфере, $k_{\text{cloud0}}=1,1$ [Direct data on the ^{137}Cs activity in the atmosphere, $k_{\text{cloud0}}=1,1$]			Пересчитанные данные активности ^{137}Cs в атмосфере, $k_{\text{cloud0}}=1,72$ [Recalculated data of ^{137}Cs activity in the atmosphere, $k_{\text{cloud0}}=1,72$]		
	прямой расчет [direct calculation]	неоднородное облако [heterogeneous cloud]	однородное облако [homogeneous cloud]	прямой расчет [direct calculation]	неоднородное облако [heterogeneous cloud]	однородное облако [homogeneous cloud]
Rain_{rec} , мм/сутки [Rain_{rec} , mm/day]	0	0	2,8	0	0	0,7

k_{cloud0} и k_{cloud} – коэффициенты пересчета удельных активностей ^{131}I и ^{137}Cs в атмосфере района Ostroleka Area и населенного пункта Ostroleka;
 $\sigma\text{Cs}_{\text{dep}}$, $\sigma\text{Cs}_{\text{rec}}$ – плотности выпадения ^{137}Cs соответственно, инструментальные и реконструированные по модели прямого расчета, $\text{кБк}/\text{м}^2$;
 $\text{Rain}_{\text{meteo}}$ и Rain_{rec} – осадки по метеоданным и реконструированные по модели неоднородного облака, мм;
 $(\theta_1; \theta_2)$ – время основных выпадений, сутки после аварии.

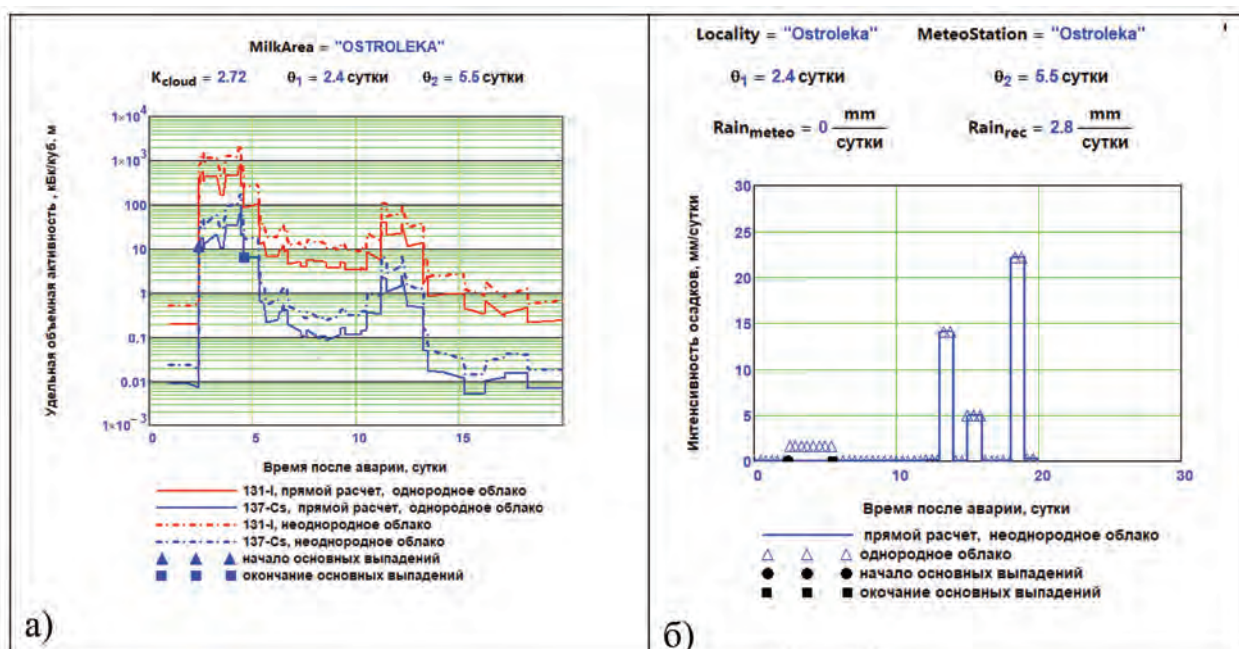


Рис. 2. Удельные объемные активности ^{131}I и ^{137}Cs в атмосфере района Ostroleka Area (а) и интенсивность осадков на метеостанции Ostroleka (б)
 [Fig. 2. The specific volumetric activity of ^{131}I and ^{137}Cs in the atmosphere of the Ostroleka Area (a) and the intensity of precipitation at the Ostroleka weather station (b)]

в атмосфере ($k_{\text{cloud0}}=1$) при прямом расчете с метеоданными об отсутствии осадков за период основных выпадений ($\text{Rain}_{\text{meteo}}=0$ мм/сутки) фактическая и расчетная плотности «сухих» выпадений ^{137}Cs в этом НП, равные 3,1 $\text{кБк}/\text{м}^2$ и 1,2 $\text{кБк}/\text{м}^2$ соответственно, отличаются в 2,7 раза ($k_{\text{cloud}}=2.72$, см. рис. 2).

В модели неоднородного облака взаимное согласование всех трех типов данных: активностей ^{137}Cs в атмосфере, осадков за период основных выпадения и плотностей выпадения ^{137}Cs производится путем увеличения активности ^{137}Cs и ^{131}I в атмосфере на эту же величину (см. рис. 2а); в модели однородного облака – путем увеличения интенсивности эффективных осадков за период ($\theta_1; \theta_2$) до 2,8 мм/сутки (см. рис. 2б).

В варианте с пересчетом активностей ^{137}Cs и ^{131}I в атмосфере ($k_{\text{cloud0}}=1,74$) произведена нормировка плотности «сухих» выпадений ^{137}Cs при прямых данных его активности в атмосфере ($k_{\text{cloud}}=1$) на минимальную плотность выпадений ^{137}Cs в районе Ostroleka Area, равную 2 $\text{кБк}/\text{м}^2$. В этом варианте для модели прямого расчета плотность сухих выпадений ^{137}Cs увеличилась до 2 $\text{кБк}/\text{м}^2$, коэффициент пересчета активностей ^{137}Cs и ^{131}I в атмосфере для модели неоднородного облака уменьшился до 1,6, а осадки для модели однородного облака уменьшились до незначимой величины 0,7 мм/сутки (см. табл.). Стандартное геометрическое отклонение невязок во всех вариантах расчетов равно 1,49–1,51.

Все три варианта параметров моделей атмосферы будут использоваться в следующих работах по исследованиям динамики активностей ¹³¹I сначала в зеленом корме молочных коров и далее, уже с использованием их результатов, в молоке.

Заключение

Анализ базы инструментальных и реконструированных по радиоэкологической модели данных «Варшавского» сценария выполнен на основе предположения, что измеренные минимальные плотности выпадений цезия в каждом молочном районе соответствуют сухим выпадениям. Это предположение подтверждается совпадением расчетных и измеренных плотностей выпадения ¹³⁷Cs с точностью до 10% на территории района Warsaw Area, где в период основных выпадений, по метеоданным, прошли локальные осадки. В районе Ostoleka Area, где не проводились измерения параметров радиоактивного загрязнения атмосферы и не было осадков за период основных выпадений, плотности сухих выпадений ¹³⁷Cs, рассчитанные, как и в районе Warsaw Area, по модели однородного облака, оказались в 2,7 раза меньше измеренных минимальных плотностей выпадений. При использовании модели неоднородного облака расчетные и измеренные минимальные плотности выпадений совпадали с такой же точностью, как и в районе Warsaw Area. Выполненная процедура взаимного согласования входных реконструированных и инструментальных данных предназначена для расчета транспорта радионуклидов ¹³¹I, ¹³⁴Cs и ¹³⁷Cs в конечных элементах пищевой цепочки – в молоке и в организме человека.

Приложение

Модели атмосферы

Регион – часть территории, на которой были получены инструментальные данные динамики активностей радионуклидов в атмосфере.

Прямой расчет: для всех НП региона используется следующий набор входных данных: инструментальные данные динамики активности радионуклидов ¹³⁷Cs, ¹³¹I и химических форм его существования в атмосфере, метеоданные об осадках за период основных выпадений на ближайших к НП метеостанциях. По ним рассчитывается плотность выпадения ¹³⁷Cs.

Однородное облако – неоднородные осадки: одинаковая удельная объемная активность радионуклидов в атмосфере над регионом – неоднородные эффективные осадки в населенных пунктах (НП) (осадки с постоянной интенсивностью в период основных выпадений, реконструированные по инструментальным данным активности ¹³⁷Cs в атмосфере и плотностям его выпадения в НП).

Неоднородное облако – однородные осадки: регион неоднородного облака включает все населенные пункты вокруг ближайшей к ним метеостанции для каждого НП региона – данные этой метеостанции об осадках за период основных выпадений, динамика удельных активностей радионуклидов в атмосфере над каждым НП нормируется на плотность выпадения ¹³⁷Cs по соотношению:

$$C_{rec}^{nucl}(t) = C_{instr}^{nucl}(t) * \frac{\sigma_{НП}^{137Cs}}{\sigma_{rec}^{137Cs}}, \quad (1)$$

где: $C_{rec}^{nucl}(t)$ и $C_{instr}^{nucl}(t)$ – реконструированная и инструментальная зависимость от времени активности радионуклидов ¹³⁷Cs в атмосфере, кБк/м³,

$\sigma_{НП}^{137Cs}$, σ_{rec}^{137Cs} – фактическая и реконструированная плотность выпадения ¹³⁷Cs в населенном пункте, кБк/м², здесь:

$$\sigma_{rec}^{137Cs} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} [V_{ds}^{Cs} + \dot{R}_{НП}^{meteo}(\tau) * W^{Cs}] * C_{instr}^{137Cs}(\tau) * d\tau, \quad (2)$$

$\theta_1 \div \theta_2$ – время основных выпадений, сутки после аварии,

V_{ds}^{Cs} – скорость «сухого» выпадения цезия на почву, 0,5 мм/с, [8]

\dot{R}_{dep} – интенсивность дождя в период основных выпадений, м/сутки,

W^{Cs} – коэффициент объемного вымывания Cs из атмосферы дождем, равный отношению объемных активностей радионуклида в дождевой воде и воздухе, (1·10⁵) [8].

Коэффициент пересчета удельных объемных активностей ¹³⁷Cs и ¹³¹I в атмосфере

Коэффициент пересчета удельных объемных активностей ¹³⁷Cs и ¹³¹I в атмосфере от инструментальных данных в регионе их измерения (индекс _o) к реконструированным данным в регионе без их измерений (индекс _k).

Вариант 1, с использованием реконструированных плотностей «сухих» выпадений ¹³⁷Cs, рассчитанных по инструментальным данным его удельной активности в атмосфере

$$k_{cloud,k}^{Cs,I} = \frac{\sigma_{min,k}^{137Cs}}{\sigma_{dry,0}^{137Cs}}, \quad (3)$$

где:

$$\sigma_{dry,0}^{137Cs} = V_{ds}^{Cs} * \int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{instr,0}^{137Cs}(\tau) * d\tau, \quad (4)$$

Вариант 2, с использованием минимальных плотностей выпадения ¹³⁷Cs в регионах

$$k_{cloud,k}^{Cs,I} = \frac{\sigma_{min,k}^{137Cs}}{\sigma_{dry,rec,0}^{137Cs}}, \quad (5)$$

где: $\sigma_{min,k}^{137Cs}$ – минимальная плотность выпадения ¹³⁷Cs в к-м регионе, кБк/м²;

$$\sigma_{dry,rec,0}^{137Cs} = V_{ds}^{Cs} * \int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{instr,rec,0}^{137Cs}(\tau) * d\tau. \quad (6)$$

В формуле (6): $C_{instr,rec,0}^{137Cs}$ – удельная объемная активность ¹³⁷Cs в атмосфере 0-го региона, нормированная на плотность его реконструированных «сухих» выпадений в этом же регионе, кБк/м³, определяется выражением:

$$C_{instr,rec,0}^{137Cs}(t) = \frac{\sigma_{min,0}^{137Cs}}{\sigma_{dry,0}^{137Cs}} * C_{instr,0}^{137Cs}(t), \quad (7)$$

где: $\sigma_{dry,0}^{137Cs}$ – плотность «сухих» выпадений ¹³⁷Cs в 0-вом регионе, кБк/м², рассчитанная по инструментальным данным удельной активности ¹³⁷Cs в атмосфере.

С учетом (4–7), получаем:

$$k_{cloud,k}^{Cs,I} = \frac{\sigma_{min,k}^{137Cs}}{\frac{\sigma_{min,0}^{137Cs}}{\sigma_{dry,0}^{137Cs}} * [V_{ds}^{Cs} * \int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{instr,0}^{137Cs}(\tau) * d\tau] = \sigma_{dry,0}^{137Cs}} = \frac{\sigma_{min,k}^{137Cs}}{\sigma_{min,0}^{137Cs}}. \quad (8)$$

Пространственно-однородные удельные объемные активности ^{137}Cs и ^{131}I в атмосфере k-го региона ($C_{rec,k}^{137\text{Cs}, 131\text{I}}$) рассчитываются по соотношению

$$C_{rec,k}^{137\text{Cs}, 131\text{I}}(t) = C_{instr,0}^{137\text{Cs}, 131\text{I}}(t) * k_{cloud,k}, \quad (9)$$

где: $C_{instr,0}^{137\text{Cs}, 131\text{I}}$ – данные удельных объемных активностей ^{137}Cs или ^{131}I в атмосфере, измеренные в 0-м регионе, кБк/м³.

Литература

1. Власов О.К., Краевский П., Бартускова М., и др. Создание и верификация взаимосогласованной базы входной информации имитационной модели транспорта радионуклидов ^{137}Cs и ^{131}I по пищевой цепочке на инструментальных радиоэкологических данных (по материалам «Пражского» и «Варшавского» сценариев проекта МАГАТЭ EMRAS) // Радиация и риск. 2019. Т. 28, № 3. С. 5-26.
2. Власов О.К., Краевский П., Звонова И.А., и др. Верификация радиоэкологической модели на инструментальных данных удельной активности ^{131}I в траве в Мазовии и Богемии после аварии на ЧАЭС (по материалам «Пражского» и «Варшавского» сценариев проекта МАГАТЭ EMRAS) // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 4. С. 6-17.
3. Vlasov O.K., Krajewski P., Bartuskova M., et al. Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS): a summary report of the results of the EMRAS programme (2003-2007). IAEA-TECDOC-1678. Vienna, IAEA; 2012. 60 p.
4. Krajewski P., Ammann M., Bartusková M., et al. Validation of environmental transfer models and assessment of the effectiveness of countermeasures using data on ^{131}I releases from Chernobyl // Appl Radiat Isot. 2008. Vol. 66, No 11. P. 1730-5.
5. Bartuskova M., Malatova I., Berkovskyy V., et al. Radioecological assessments of the Iodine working group of IAEA's EMRAS programme: Presentation of input data and analysis of results of the Prague scenario // Radioprotection. 2009. Vol. 44, No. 5. P. 295-300.
6. Zvonova I., Berkovsky V., Ammann M., et al. Validation of ^{131}I ecological transfer models and thyroid dose // J. Environ. Radioact. 2010. Vol. 101, N 1. P. 8–15. DOI:10.1016/j.jenvrad.2009.08.005.
7. Власов О.К. Радиоэкологическая модель транспорта радионуклидов йода и цезия по пищевым цепочкам после радиационных аварий с выбросом в атмосферу для исследований закономерностей формирования доз внутреннего облучения населения. Часть 1. Описание, постановка и свойства агроклиматического блока модели // Радиация и риск. 2013. Т. 22, № 2. С. 16-34.
8. Muller H., Prohl G. ECOSYS for Excel (version 1.4E). A radioecological model for assessing contamination of foodstuffs and radiation exposure following a release of radionuclides. ConRad Consulting in Radioecology, Schumann str. 12, D-85598, Baldham.

Поступила: 03.07.2020 г.

Власов Олег Константинович – заведующий лабораторией радиационно-экологической информатики, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Национального медицинского исследовательского центра Министерства здравоохранения Российской Федерации. **Адрес для переписки:** 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Королёва, д. 4; E-mail: vlasov@nrcg.ru

Звонова Ирина Александровна – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Краевский Павел – профессор, директор Центральной лаборатории радиационной защиты, Варшава, Польша

Щукина Наталия Владиленовна – старший научный сотрудник лаборатории радиационно-экологической информатики, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Национального медицинского исследовательского центра Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

Чекин Сергей Юрьевич – заведующий лабораторией оптимизации радиологической защиты, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Национального медицинского исследовательского центра Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

Туманов Константин Александрович – заведующий лабораторией научно-методического сопровождения радиологических регистров и банков данных, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Национального медицинского исследовательского центра Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

Для цитирования: Власов О.К., Звонова И.А., Краевский П., Щукина Н.В., Чекин С.Ю., Туманов К.А. Реконструкция параметров радиоэкологической модели по результатам мониторинга радиационной обстановки в Мазовии после аварии на ЧАЭС (по материалам «Варшавского» сценария проекта МАГАТЭ EMRAS) // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 4. С. 26-33. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-4-26-33

Reconstruction of radio-ecological model parameters based on the results of monitoring the radiation situation in Mazovia after the Chernobyl accident (based on the «Warsaw» scenario of the IAEA EMRAS project)

Oleg K. Vlasov¹, Irina A. Zvonova², Pavel Krajewski³, Nataliya V. Schukina¹, Sergey Yu. Chekin¹, Konstantin A. Tumanov¹

¹ A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia

² Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

³ Central Laboratory for Radiological Protection, Warsaw, Poland

The paper analyzes the consistency of the input data of the radioecological model: the results of measurements of ¹³⁷Cs and ¹³¹I concentrations in the atmosphere after the Chernobyl accident in Warsaw, the meteorological data on precipitation during the main radioactive fallout, the values of minimum ¹³⁷Cs deposition densities on the territories of two dairy areas of Warsaw Area and Ostroleka Area in the central part of Mazovia. According to meteorological data in Warsaw Area during the period of radioactive fallout there were local rains. In Ostroleka Area, according to all weather stations, there was no rainfall during this period. In Warsaw Area, a minimum ¹³⁷Cs deposition density of 1.3 kBq/m² with an error of less than 10% was found to be consistent with the “dry” deposition density of ¹³⁷Cs (1.2 kBq/m²) reconstructed by a simulated agroclimatic model based on atmospheric ¹³⁷Cs measurements. This agreement, taking into account the amount of precipitation recorded at weather stations during the period of radioactive fallout and the significant, more than 10 times, dispersion of ¹³⁷Cs fallout densities across the Warsaw Area, suggests that a homogeneous cloud-uniform fallout model is preferable for this region in radio-ecological modeling. For the Ostroleka Area, the variation in deposition densities of ¹³⁷Cs was relatively small, at 3.2, and the estimated dry deposition density of ¹³⁷Cs was 2.0–2.7 times lower than the measured minimum deposition densities in districts and settlements. This discrepancy, given the absence of precipitation recorded by all weather stations during the deposition period, led to the assumption that the ¹³⁷Cs and ¹³¹I atmospheric concentrations in Ostroleka Area were 2–2.7 times higher than those in Warsaw Area. The adjustment of the ¹³⁷Cs and ¹³¹I atmospheric concentrations in the Ostroleka Area for this region will be verified by measuring the ¹³¹I specific activity in milk under the Warsaw scenario.

Key words: Chernobyl accident, IAEA project “EMRASS”, “Warsaw” scenario; simulation agro-radio-ecological model, ¹³⁷Cs and ¹³¹I at the atmosphere, dry and wet depositions, “dry” and “wet” deposition, ¹³⁷Cs deposition density.

References

- Vlasov OK, Krajewski P, Bartuskova M, Malatova I, Shchukina NV, Chekin SYu, et al. The creation and verification of a mutually agreed database of input information of the simulation model of transport of radionuclides ¹³⁷Cs and ¹³¹I along the food chain on instrumental radioecological data (based on the materials of the “Prague” and “Warsaw” scenarios of the IAEA EMRAS project). *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*. 2019;28(3): 5-23 (In Russian)
- Vlasov OK, Krajewski P, Zvonova IA, Malatova I, Bartuskova M, Schukina NV, et al. Verification of radioecological models to the instrumental data of the specific activity ¹³¹I in a grass in Mazovia and Bohemia after the Chernobyl accident (from “Prague” and “Warsaw” scenarios of the IAEA project EMRAS). *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(4): 6-17 (In Russian)
- Vlasov OK, Krajewski P, Bartuskova M, Malatova I, Schukina NV, Chekin SYu, et al. Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS): a summary report of the results of the EMRAS programme (2003-2007). IAEA-TECDOC-1678. Vienna, IAEA. 2012. 60 p.
- Krajewski P, Ammann M, Bartusková M, Duffa C, Filistovic V, Homma T, et al. Validation of environmental transfer models and assessment of the effectiveness of countermeasures using data on ¹³¹I releases from Chernobyl. *Applied Radiation and Isotopes*. 2008;66(11): 1730-5.
- Bartuskova M, Malatova I, Berkovskyy V, Krajewski P, Amman M, Filistovic V, et al. Radioecological assessments of the Iodine working group of IAEA’s EMRAS programme: Presentation of input data and analysis of results of the Prague scenario. *Radioprotection* 2009;44(5): 295-300.
- Zvonova I, Berkovsky V, Ammann M, Duffa C, Filistovic V, Homma T, et al. Validation of ¹³¹I ecological transfer models and thyroid dose. *Journal of Environmental Radioactivity* 2010;101(1): 8–15. DOI:10.1016/j.jenvrad.2009.08.005.
- Vlasov OK. Radioecological model for transport of radioiodine and radiocesium in the food chains after radiological accidents and discharge of radioactive substances to atmosphere for study of mechanism of formation of internal radiation doses to population. Part 1. Description, formulation and properties of agroclimatic model. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*. 2013;22(2): 16-34 (In Russian)
- Muller H, Prohl G. ECOSYS for Excel (version 1.4E). A radio-ecological model for assessing contamination of foodstuffs and radiation exposure following a release of radionuclides. ConRad Consulting in Radioecology, Schumann str. 12, D-85598, Baldham.

Received: July 03, 2020

Oleg K. Vlasov

A. Tsyb Medical Radiological Research Center

Address for correspondence: Koroleva str., 4, Obninsk, 249036, Kaluga region, Russia; E-mail: vlasov@nrer.ru

For correspondence: Oleg K. Vlasov – Head of the Laboratory of Radiation-environmental Informatics, A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation (Koroleva str., 4, Obninsk, 249036, Kaluga region, Russia; E-mail: vlasov@nrer.ru)

Irina A. Zvonova – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Pavel Krajewski – Professor, Director of the Central Laboratory of Radiological Protection, Warsaw, Poland

Nataliya V. Schukina – Senior Researcher of the Laboratory of Radiation-Environmental Informatics, A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia

Sergey Yu. Chekin – Head of the Laboratory of Optimization of Radiological Protection, A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia

Konstantin A. Tumanov – Head of the Laboratory of Scientific-methodical Maintenance of Radiological Registers and Data Banks, A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia

For citation: Vlasov O.K., Zvonova I.A., Krajewski P., Schukina N.V., Chekin S.Yu., Tumanov K.A. Reconstruction of radio-ecological model parameters based on the results of monitoring the radiation situation in Mazovia after the Chernobyl accident (based on the “Warsaw” scenario of the IAEA EMRAS project). *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020. Vol. 13, No 4. P. 26-33. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-4-26-33