

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПЛУТОНИЕМ ОТ АВАРИЙНЫХ ВЫПАДЕНИЙ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Чеботина М.Я., Пономарева Р.П., Щербакова Л.М. – Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. На основе результатов анализа фактических данных о содержании плутония в почве и воздухе, приведенных в научной литературе, предложен новый способ оценки опасности загрязненных территорий. Для расчета концентраций плутония в воздухе методом «нагрузки по массе» вместо удельной активности почвы предлагается использовать почвенный коэффициент, который представляет собой сумму произведений удельной активности каждой вдыхаемой фракции почвенных частиц в диапазоне размеров от 0,05 до 10 мкм на долю ее активности от активности почвенной пробы. Проверка этого способа на независимом материале показала, что при его использовании расчетные значения концентраций плутония в воздухе приближаются к фактически измеренным, а сам почвенный коэффициент может быть использован для оценки опасности загрязненных территорий.

Радиоактивное загрязнение, удельная активность, концентрация, почвенный коэффициент.

ESTIMATION OF THE DANGER OF AREAS POLLUTED WITH PLUTONIUM AFTER THE CHERNOBIL ASSIDENT

Chebotina M.Ja., Ponomareva R.P., Scherbakova L.M. – Institute of Plant and Animal Ecology UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. Based on the actual data from the literature on the levels of plutonium in the soil and air we propose a new method to estimate the danger of the polluted areas. To calculate plutonium concentrations in the air we suggest to use the soil coefficient in the formula “the load from mass” instead specific activity in soil. The soil coefficient is the sum of products of the specific activity of each breathed fraction of soil particles (size 0,05–10 mkm) per the percentage of its activity in the activity of the soil sample. The check of this method on the material taken elsewhere has shown that calculated values of plutonium concentrations in the air approach the measured values.

Radioactive pollution, specific activity, concentration, soil factor.

На загрязненных плутонием территориях наиболее значим ингаляционный путь его поступления и накопления в организме человека. Поэтому содержание радионуклида в воздухе является определяющим фактором оценки опасности проживания людей на таких территориях (Трансурановые ..., 1985; Утилизация ..., 2000; Щербакова, 2000; Щербакова и др., 2004).

Определение концентраций плутония в воздухе в натуральных условиях чрезвычайно трудоемко и дорого, поэтому для приблизительной оценки опасности загрязненных территорий используются показатели плотность загрязнения (σ , Бк/м²) или удельная активность (q , Бк/кг) почвы по данному радионуклиду. При этом считается, что удельная активность плутония в воздушной пыли над загрязненной терри-

торией равна удельной активности почвы. Однако практика показала, что фактическая концентрация плутония в воздухе не всегда коррелирует с названными параметрами (Романов, Бакуров, 1996). Возможной причиной этого могут быть большие различия в удельной активности фракций почвенных частиц разных размеров, а также количественный вклад этих фракций в активность почвы (Старцев, Попова, 1994; Bereznoi et al., 1991; Ruser et al., 2005).

Цель нашей работы – на основании анализа фактических данных, представленных в научной литературе, исследовать распределение плутония по почвенным частицам разных размеров для выявления критерия оценки адекватных концентраций радионуклида в воздухе, а следовательно, и корректного способа определения опасности проживания населения на

загрязненной территории.

За основу анализа взята работа (Bereznoi et al., 1991), которая содержит наиболее полную информацию о концентрациях плутония в почве в пределах 15 км зоны ЧАЭС. Согласно этим данным, величины удельной активности плутония в почве на разных расстояниях от г. Чернобыля варьировали от 0,3 до 13 Бк/г, а во фракциях частиц разных размеров – от 0,1 до 326 Бк/г (табл. 1).

Таким образом, фракции почвенных частиц по удельной активности могут быть как обеднены, так и обогащены плутонием по отношению к почве. В частности, для каждого из расстояний от г. Чернобыля удельная активность плутония во фракциях частиц диаметром от 0,05 до 50 мкм, как правило, превышает удельную активность почвы, а во фракции частиц от 50 до 160 мкм она ниже (исключение составляет расстояние 1,5 км). Диапазон различий между минимальными и максимальными значениями удельной активности фракций почвы достигает десятков и сотен раз.

В настоящей работе особое внимание уделено анализу «вдыхаемых фракций» частиц почвы (Пределы ..., 1982; Щербакова, 2000; Fisenne, 2005; Норке, 2005; Ruser, Apte, Sextro, 2005). На рассмотренных территориях к «вдыхаемым фракциям» почвы относятся частицы с диаметром 0,05–2, 2–5, 5–10 мкм. По данным работы (Трансурановые ..., 1985), за счет фракций почвенных частиц этих размеров создается концентрация плутония в воздухе над за-

грязненной территорией. Величины удельной активности этих фракций для каждого из расстояний возрастают по мере укрупнения частиц от 2 до 7 раз. Кроме того, эти значения соизмеримы для расстояний 1,5 и 15 км, с одной стороны, и 6 и 8 км – с другой. Значения удельной активности фракций для расстояний 1,5 и 15 км от 20 до 200 раз выше, чем для расстояний 6 и 8 км. Это, на наш взгляд, обусловлено выпадениями на разных расстояниях от ЧАЭС компонент аварийного выброса, представляющих разные источники загрязнения аварийным плутонием (Лебедев и др., 1992).

Величины удельной активности почвы для расстояния 1,5 км примерно в 3 раза выше, чем для расстояния 15 км, тогда как значения удельной активности «вдыхаемых фракций» на расстоянии 15 км превышают таковые по сравнению с расстоянием 1,5 км в 1,3–5 раз. Подобная обратно пропорциональная зависимость удельной активности воздушной пыли и коэффициентов ресуспензии от величин q и σ соответственно получена нами ранее при рассмотрении многих загрязненных плутонием территорий (Лебедев и др., 1992; Щербакова и др., 2004).

Дальнейшее рассмотрение параметров распределения плутония в разных по размеру почвенных частицах показало, что наибольший вклад в величину активности почвы (80–97 %) вносят частицы диаметром 10–160 мкм. Эти частицы и определяют величины q и σ : частицы 10–50 мкм –

Таблица 1. Удельная активность плутония в почве и фракциях почвенных частиц разных размеров (Бк/г) в зависимости от расстояния от г. Чернобыля (Bereznoi et al., 1991)

Объект исследования	Удельная активность на расстояниях, км			
	1,5	6,0	8,0	15,0
Почва	13,0	0,7	0,3	4,5
Фракции почвенных частиц, мкм				
0,05–2	20,7	0,7	1,3	105
2–5	103	3,0	0,8	132
5–10	150	3,9	5,5	235
10–50	326	6,0	1,5	319
50–160	17,8	0,5	0,1	1,5

Таблица 2. Доли по массе (f_i^m) и активности (f_i^A) разных фракций частиц, % от общей массы и суммарной активности почвенных частиц диаметром 0,05–2000 мкм на разных расстояниях от г. Чернобыля (Bereznoi et al., 1991)

Диаметр частиц, мкм	Расстояние, км							
	1,5		6		8		15	
	f_i^m	f_i^A	f_i^m	f_i^A	f_i^m	f_i^A	f_i^m	f_i^A
0,05–2	0,55	0,6	0,30	0,3	0,8	3,8	0,11	2,5
2–5	0,15	1,2	0,34	1,1	0,6	2,0	0,16	4,7
5–10	0,36	4,1	0,73	3,9	1,4	29	0,11	5,8
10–50	2,0	51,3	6,21	50,5	8,6	46,6	0,81	56,5
50–160	29,8	40,7	32,4	23,7	40,4	11,4	35,8	11,4

за счет удельной активности плутония (табл. 1), а частицы > 50 мкм – за счет своей массы (табл. 2). Вдыхаемые фракции частиц (≤ 10 мкм), ответственные за загрязнение воздуха, вносят вклад в активность почвы от 6 до 13 % (исключение составляет расстояние 8 км, где доля фракции частиц f_i^A равна 35 % от общей активности). Причем никакого соответствия в изменении величин f_i^m и f_i^A в зависимости от расстояния не наблюдается.

Важно отметить, что для пары расстояний 1,5 и 15 км за счет изменения величин удельной активности фракций почвы снижается вклад в общую активность почвы (примерно от 41 до 11 %) частиц размером 50–160 мкм, формирующих плотность загрязнения почвы, и увеличивается вклад (от 6 до 13 %) частиц 0,05–10 мкм, формирующих концентрацию плутония в воздухе (табл. 2). Это обстоятельство определяет обратную зависимость между значениями удельной активности вдыхаемых фракций почвенных частиц, с одной стороны, и значениями удельной активности и плотности загрязнения почвы, с другой. Поэтому значения удельной активности вдыхаемых фракций и их доля по активности должны учитываться при расчете концентраций плутония в воздухе.

В применяемом в настоящее время на практике методе нагрузки по массе рекомендуется рассчитывать концентрацию плутония в воздухе (C_1^P , мкБк/м³) по

формуле:

$$C_1^P = q \cdot NM, \quad (1)$$

где q – удельная активность почвы, Бк/г; NM – содержание пыли в единице объема воздуха, $n \cdot 10^{-6}$ г/м³ (нагрузка по массе).

При этом, как отмечено выше, принимается равенство значений удельной активности воздушной пыли и удельной активности почвы, что не всегда соответствует действительности.

Мы предлагаем в формуле (1) вместо значения q применять произведение q_i вдыхаемых фракций частиц на их долю по активности в почве f_i^A , которое будем называть почвенным коэффициентом N_{Π} , и определять концентрацию плутония в воздухе (C_2^P , мкБк/м³) по формуле:

$$C_2^P = N_{\Pi} \cdot NM = \sum (q_i \cdot f_i^A) \cdot NM, \quad (2)$$

где N_{Π} – почвенный коэффициент, Бк/г; q_i – удельная активность каждой из «вдыхаемых фракций» в диапазоне размеров частиц 0,05–10 мкм, Бк/г;

f_i^A – доля по активности каждой из «вдыхаемых фракций» диапазона частиц 0,05–10 мкм от суммы активности частиц (0,05–2000 мкм), принятой за единицу; NM – содержание пыли в единице объема воздуха, $n \cdot 10^{-6}$ г/м³.

По данным работы (Bereznoi et al., 1991) для 15 км аварийной зоны ЧАЭС были рассчитаны почвенные коэффициенты для трех вдыхаемых фракций почвы (табл. 3). Оценка опасности загрязненной территории по значениям N_{Π} для всех фракций почвенных

Таблица 3. Почвенные коэффициенты $N_{\text{П}}$ для вдыхаемых фракций частиц на разном расстоянии от г. Чернобыля ($n \cdot 10^{-3}$ Бк/г)

Диаметр частиц, мкм	Расстояние, км			
	1,5	6	8	15
0,05–2	116	2	48	2670
2–5	1260	41	16	6190
5–10	6140	152	1620	13510
Σ (0,05–10)	7516	195	1684	22370

частиц стабильно указывает на большую опасность территории на расстоянии 15 км от г. Чернобыля.

Поскольку в работе (Bereznoi et al., 1991) отсутствуют данные по фактическим концентрациям плутония в воздухе, адекватность оценки опасности загрязненной территории с использованием почвенного коэффициента мы провели на независимом материале (Старцев, Попова, 1994), в котором представлены результаты исследований, проводившихся в отселенных пунктах Борщовка и Крюки, расположенных в Хайникском и Брагинском районах Белоруссии. В цитируемой работе приведены плотности загрязнения почвы, удельная активность $^{239, 240}\text{Pu}$ в почвенных частицах по массе (f_i^m) и активности (f_i^A) от суммарной массы и активности пробы; фактически измеренные концентрации плутония (C^{Φ}) и пыли (HM) в воздухе. К сожалению, в этой работе все необходимые данные приведены только для двух фракций (<1 и 1–5 мкм).

Из табл. 4 видно, что концентрации плутония в воздухе, рассчитанные с применением величин $N_{\text{П}}$, близки к фактически измеренным и значительно превыша-

ют показатели, рассчитанные по q . Данные таблицы показывают, что при соизмеримых уровнях удельной активности почвы опаснее проживание в более удаленном от г. Чернобыля п. Борщовка, где концентрация плутония в воздухе в 3,3 раза выше, чем в п. Крюки.

Таким образом, для определения концентрации плутония в воздухе с целью выявления опасности проживания человека на загрязненной плутонием территории более предпочтительно использовать почвенный коэффициент по сравнению с удельной активностью почвы, т.к. в последнем случае подобная оценка может привести к искаженному результату. Применение величин $N_{\text{П}}$ позволяет сделать корректную оценку относительной опасности территорий без определения концентраций плутония в воздухе.

Литература

Лебедев И.А., Мясоедов Б.Ф., Павлоцкая Ф.И., Френкель В.Я. Содержание плутония в почвах Европейской части страны после аварии на ЧАЭС // Атомная энергия. 1992. Т. 72. Вып. 6. С. 593–599.

Пределы поступления радионуклидов для

Таблица 4. Фактические (C^{Φ}) и расчетные (C^P) концентрации плутония в воздухе от фракций частиц ≤ 5 мкм, рассчитанные с использованием почвенного коэффициента и удельной активности почвы

Пункт наблюдения	q , Бк/г	Почвенный коэффициент $\Sigma N_{\text{П}}$, Бк/г	C^P , мкБк/м ³ , рассчитанные по (1) и (2)		C^{Φ} , мкБк/м ³ (Старцев, Попова, 1994)
			$\Sigma N_{\text{П}}$	q	
Борщовка	0,15	2,6	54,9	3,2	77
Крюки	0,20	1,1	10,3	1,9	23

работающих с ионизирующим излучением: Публикация 30 МКРЗ / Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1982. Ч. 1. 136 с.

Романов Г.Н., Бакуров А.С. Плутоний в окружающей среде производственного объединения «Маяк» // Вопросы радиационной безопасности. 1996. № 2. С. 11–21.

Старцев Н.В., Попова И.Я. Возможность оценки ингаляционного поступления в организм плутония методом нагрузки по массе // Медицина труда и промышленная экология. 1994. № 8. С. 37–40.

Трансурановые элементы в окружающей среде / Под ред. Ч.С. Хенсона. М.: Энергоиздат, 1985. 342 с.

Утилизация плутония: проблемы и решения. Мат-лы Российско-Американских слушаний 31 мая–2 июня 2000. Екатеринбург, 2000. 90 с.

Чеботина М.Я., Щербакова Л.М., Пономарева Р.П., Аксенова Г.М. Прогноз концентрации плутония в воздухе по удельной активности почвы. Сообщение 2 // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Мат-лы 2-й Международ. конф. Томск, 2004. С. 683–685.

Щербакова Л.М. Роль мелкодисперсной фракции аэрозолей в прогнозировании облучения экстрапульмональным плутонием (Аналитический обзор) // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. Заграничный, 2000. Вып. 3. С. 278–284.

Щербакова Л.М. Чеботина М.Я., Пономарева Р.П., Лемберг Т.В. Прогноз концентрации плутония в воздухе по удельной активности почвы. Сообщение 2 // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Мат-лы 2-й Международ. конф. Томск, 2004. С. 680–682.

Bereznoi V.I., Valentova N.K., Dunaev J.E., Kazakov N.A., Zubarev V.G. Some data on transuranium element distribution in particle size fractions of Chernobyl soils // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Articles. 1991. V. 150. № 2. P. 445–454.

Fisenne J.M. Risk from inhalation of the long-lived radionuclides uranium, thorium and fallout plutonium in the atmosphere // Materials of VII intern. symp. «Change and continuity in radiation protection». 2005. P. 585–595.

Hopke P.K. Advances in monitoring methods for airborne particles // Materials of VII intern. symp. «Change and continuity in radiation protection». 2005. P. 35–45.

Ruser L.S., Apte V.G., Sextro R.G. Aerosol dose // Materials of V11 Intern. Symp. «Change and continuity in radiation protection» 2005. P. 101–113.