

Оценка снижения осадка ^{137}Cs на почве за счет горизонтального стока

О.Н. Прокофьев

ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

Цель работы состоит в том, чтобы получить оценку возможного снижения плотности осадка ^{137}Cs на почве под воздействием горизонтального стока на основе анализа результатов натурных наблюдений за плотностью осадка ^{137}Cs на почве после аварии на Чернобыльской АЭС.

Ключевые слова: радиоактивный осадок, почва, сток, доза облучения.

При ретроспективном определении доз внешнего облучения людей от локальных радиоактивных выпадений ядерных взрывов по величине осадка ^{137}Cs на почве спустя 40–50 лет после образования радиоактивных следов в работах как отечественных [1–4], так и зарубежных исследователей [5] не учитывался поверхностный горизонтальный сток ^{137}Cs в результате эрозии и смыва под воздействием водных потоков, обусловленных атмосферными осадками. Предполагалось, что при соблюдении ряда условий при выборе места отбора пробы почвы для анализа (целинная почва на ровной площадке с хорошо развитой дерниной и травостоем) можно пренебрегать влиянием горизонтального стока на величину сохранившегося осадка ^{137}Cs на почве из-за малости этого эффекта. Результаты ряда работ, опубликованных после аварии на ЧАЭС, указывают, что это допущение иногда может быть несправедливо.

Если величина горизонтального стока с почвы выпавшего ^{137}Cs могла достигать 20 процентов и более, то отсутствие учета этого явления при ретроспективном определении доз облучения людей по величине плотности осадка ^{137}Cs на почве, определяемой спустя несколько десятилетий после состоявшихся локальных выпадений, приводит к существенно заниженной оценке доз облучения людей.

Снижение активности осадка радионуклидов цезия на единице площади после чернобыльских выпадений вследствие их горизонтального стока иллюстрируют результаты работы [6]. Авторы инструментально наблюдали за динамикой изменения активностей осадка ^{137}Cs и ^{134}Cs на единице площади почвы на временном интервале от 430 до 1270 суток (отсчет времени ведется от 1 мая 1986 г.) на двух участках: 1) участок 1 на природном лугу, покрытом травой и 2) участок 2 в буковом лесу. Активности осадка ^{137}Cs и ^{134}Cs на единице площади почвы, снятые с графиков рис. 5б и рис. 6б работы [6], представлены в табл.1. Видно, что на участке 1 снижение активности осадка ^{137}Cs на единице площади прекратилось примерно через 750 суток после 1.05.86 г., а на участке 2 – через 900 суток. Средние арифметические активности осадка ^{137}Cs на единице площади почвы, сохранившиеся после наступления стабилизации, составили 1,3 Бк/см² для участка 1 и 1,93 Бк/см² для участка 2. По этим данным, снижение активности осадка ^{137}Cs на единице площади почвы за счет стока составило около 50%. Измеренные активности ^{134}Cs (см. столбец 3

табл.1) с учетом его распада пересчитаны на 430 суток после 1.05.86г., т.е. на момент его первого инструментального определения (см. столбец 4 табл.1). Активности осадка ^{134}Cs , представленные в столбце 4 табл.1, отражают обусловленную стоком динамику снижения активности осадка ^{134}Cs на почве. Начало стабилизации осадка ^{134}Cs на почве происходит в то же время, что и начало стабилизации осадка ^{137}Cs . Приведенные на начальный момент средние арифметические активности осадка ^{134}Cs на единице площади почвы после стабилизации составили 0,483 Бк/см² для участка 1 и 0,661 Бк/см² для участка 2. По этим данным, снижение активности осадка ^{134}Cs на единице площади почвы за счет стока так же, как и активности осадка ^{137}Cs , составило около 50%. Наличие практически одинаковых оценок снижения активностей осадка как ^{137}Cs , так и ^{134}Cs , за счет стока подтверждает их достоверность.

На основе результатов анализа проб почвы, отобранных в районах интенсивных чернобыльских выпадений, в работе [6] получены формулы, описывающие изменение с течением времени показателей экспонент, описывающих распределения радионуклидов цезия по глубине для почвы луга и для почвы леса. По формуле для почвы луга нами рассчитаны величины показателей экспонент на разные моменты времени после выпадения (см. столбец 2 табл. 2). Далее выполнен переход к массовым показателям экспонент (см. столбец 3 табл. 2) при условии, что плотность почвы составляет 1,4 г/см³. Значения мощности поглощенной дозы в воздухе на высоте 1 м над земной поверхностью от единичной плотности осадка ^{137}Cs на почве (см. столбец 4 табл. 2) при различных значениях массового показателя экспоненты, описывающей распределение ^{137}Cs по глубине, сняты с графика фиг. 2 работы [7]. Расчет мощности поглощенной дозы выполнен при условии, что первоначально на почву выпало 37кБк/м² ^{137}Cs и 18,5кБк/м² ^{134}Cs (чернобыльская смесь). Принято, что для формирования мощности поглощенной дозы над земной поверхностью единица активности ^{134}Cs соответствует в 2,69 раза большей активности ^{137}Cs (в соответствии с отношением ионизационных гамма – постоянных). Снижение с течением времени после выпадения суммарной активности смеси, приведенной к активности ^{137}Cs (путем суммирования активности самого ^{137}Cs и активности ^{134}Cs , пересчитанной на ^{137}Cs), показано в столбце 5 табл. 2.

Путем умножения суммарной активности, приведенной к активности ^{137}Cs , на мощность поглощенной дозы от единичной активности осадка ^{137}Cs на единице площади для соответствующего момента времени рассчитана мощность поглощенной дозы от чернобыльской смеси радионуклидов (см. столбец 6 табл. 2). Результаты, представленные в столбце 6 табл. 2, описывают снижение с течением времени мощности поглощенной дозы от чернобыльской смеси, обусловленное распадом и проникновением радионуклидов вглубь почвы.

Таблица 1

**Изменение с течением времени
средней активности осадка ^{137}Cs и ^{134}Cs
на единице площади почвы**

Время после 1.05.86 г., суток	Активность осадка в Бк/см ²		
	^{137}Cs	^{134}Cs на момент отбора пробы	430 суток после 1.05.86 г.
Участок 1			
430	2,8	0,94	0,94
532	2,1	0,70	0,77
749	1,3	0,37	0,50
832	1,1	0,28	0,40
900	1,1	0,27	0,42
1002	1,3	0,27	0,46
1093	1,2	0,24	0,44
1185	1,5	0,29	0,58
1263	1,6	0,27	0,58
Участок 2			
439	3,9	1,3	1,3
551	3,1	0,96	1,1
797	2,6	0,62	0,86
858	2,8	0,65	0,96
907	2,2	0,49	0,75
1097	2,2	0,41	0,76
1221	1,6	0,26	0,53
1270	1,8	0,28	0,60

По результатам измерений, снижение мощности поглощенной дозы в воздухе для Орловской и Брянской областей на открытых целинных участках произошло с 1,14 и 1,08 (нГр•м²)/(час•кБк) в 1992 г. до 0,91 и 0,9 (нГр•м²)/(час•кБк) в 1993 г. [8], т.е. в относительных единицах с 1 до 0,8 и с 1 до 0,83 соответственно. По расчету снижение мощности поглощенной дозы в воздухе вследствие распада и проникновения радионуклида в почву с 6-го (1992 г.) до 7-го (1993 г.) года после выпадения должно быть (см. столбец 6 табл. 2) с 1 до 0,9, т.е. примерно на 10% меньше, чем произошло фактически.

Полученное по результатам измерений и приведенное к активности осадка ^{137}Cs на единице площади 1 кБк/м² снижение с течением времени мощности дозы внешнего γ -облучения населения Брянской области за период с 1987 г. по 1994г [9] представлено в столбце 2 табл.3. Величины мощности поглощенной от чернобыльской смеси радионуклидов ^{134}Cs и ^{137}Cs , приведенной к активности ^{137}Cs , на разные сроки после выпадения при условии, что плотность активности самого ^{137}Cs постоянна и равна 37кБк/м², заимствованы из столбца 6 табл. 2 и приведены в столбце 4 табл. 3.

Сравнение фактического и расчетного снижения мощности дозы в относительных единицах (столбец 3 и столбец 5 табл.3) показывает, что наблюдается дефицит в величине фактической мощности дозы по сравнению с расчетной. Величина дефицита возрастает по мере удаления от первого года с 10% спустя 2-3 года до 45% спустя 7 лет. Это указывает, что кроме распада и проникновения радионуклидов вглубь почвы действовали и другие процессы, обуславливающие снижение мощности дозы с течением времени. Наиболее значимым из числа подобных процессов является горизонтальный сток радионуклидов цезия.

Уровень дефицита в величине фактической мощности дозы по сравнению с расчетной дает ориентировочную оценку снижения активности радионуклидов цезия на единице площади под воздействием поверхностного стока. Для сравнения приведем оценки долей интегрального стока ^{137}Cs , полученные в работе [10]: 20% в долине Миссисипи, 23% с водосбора озера Мичиган и 22% в долине Рейна.

Таблица 2

**Снижение с течением времени мощности поглощенной дозы в воздухе
от чернобыльской смеси радионуклидов (^{134}Cs и ^{137}Cs) вследствие их распада
и проникновения вглубь почвы (поле)**

Время после выпадения, лет	Линейный, см ⁻¹	Массовый, см ² /г	Мощность поглощенной дозы, (нГр•м ²)/(час•кБк)	Суммарная активность смеси, приведенная к активности ^{137}Cs , кБк/м ²	Мощность поглощенной дозы от смеси ^{134}Cs и ^{137}Cs , нГр/час
0	0,44	0,31	1,2	87	103
1	0,36	0,25	1,1	73	81
2	0,30	0,21	1,0	64	66
3	0,25	0,18	0,97	56	55
4	0,22	0,16	0,91	51	47
5	0,20	0,14	0,86	47	41
6	0,18	0,13	0,83	45	37
7	0,17	0,12	0,80	43	34
8	0,16	0,12	0,79	41	32
10	0,15	0,11	0,77	39	30

Таблица 3

Сравнение фактического и расчетного снижения мощности дозы для чернобыльской смеси, приведенной к плотности осадка ^{137}Cs 1кБк/м²

Год	Мощность дозы по результатам измерений		Мощность поглощенной дозы от смеси ^{134}Cs и ^{137}Cs (расчет)	
	(нЗв•м ²)/ (час•кБк)	Относительные единицы	нГр/час	Относительные единицы
1987	0,47	1	81	1
1989	0,27	0,59	55	0,67
1990	0,24	0,52	47	0,57
1991	0,21	0,45	41	0,50
1992	0,15	0,33	37	0,45
1993	0,13	0,28	34	0,42
1994	0,10	0,22	32	0,40

На основе анализа предшествующих исследований в работе [10] сделан вывод о том, что поведение ^{137}Cs на земной поверхности в отношении горизонтального стока не зависит от того являются ли источником ^{137}Cs глобальные выпадения или выпадения после аварии ядерного реактора. Основанием для такого вывода является установленный при наблюдении факт, что ион цезия после перехода в жидкую фазу (при переходе в раствор с частиц носителей) быстро подвергается ионному обмену и сорбции на почвенных частицах. Вследствие этого определяющую роль в поверхностном стоке ^{137}Cs играют механические процессы [11-13]. Приведенные данные дают основание считать, что плотность осадка ^{137}Cs на почве от локальных выпадений ядерных взрывов под воздействием поверхностного стока в первые годы после испытаний заметно снижалась подобно тому, как и от чернобыльских выпадений. Поэтому снижение плотности осадка локально выпавшего ^{137}Cs могло в сумме достигать 20% или более. Отсутствие учета этого снижения при ретроспективном определении доз облучения населения по величине активности ^{137}Cs на единице поверхности почвы, определяемой спустя несколько десятилетий после состоявшихся локальных выпадений, приводит к существенно заниженной оценке доз внешнего облучения людей от локальных выпадений ядерных взрывов.

Список использованной литературы

1. Определение эффективных доз внешнего облучения от локальных выпадений ядерных взрывов по величине осадка цезия-137 на почве [Текст]: Методические указания (МУ 2.6.1.040.95). – М.: Госсанэпиднадзор РФ, 1995.
2. Лагутин, А.А. Ретроспективная оценка эффективных доз внешнего облучения от локальных выпадений ядерных взрывов по величине осадка цезия-137 [Текст] / А.А. Лагутин, А.И. Гончаров, К.В. Гамаюнов [и др.] // Вестник научной программы: «Семипалатинский полигон-Алтай». – 1994. – № 4. – С. 41–59.
3. Гудошников, Ю.В. Расчет доз гамма-излучения на радиоактивном следе по выпадениям цезия-137 и стронция-90 [Текст] / Ю.В. Гудошников, В.И. Дьяченко, Ю.А. Митюнин. // В кн.: Ядерные испытания, окружающая среда и здоровье населения Алтайского края. Барнаул. – 1993. – Т.1. – кн.3. – С. 128–136.
4. Прокофьев, О.Н. Восстановление уровня облучения по величине осадка стронция-90 и цезия-137 на почве [Текст] / О.Н. Прокофьев, В.И. Коваленко, И.Г. Шергина [и др.] // В кн.: Ядерные испытания, окружающая среда и здоровье населения Алтайского края. – Барнаул. – 1993. – Т.1. – кн.3. – С. 137–158.
5. Beck, H.L. Radiation exposures in Utah from Nevada Nuclear Tests [Текст] / H.L. Beck, P.W. Krey // Science. – 1983. – V. 220. – P. 18–24.
6. Velasco, R.H. Vertical transport of radiocesium in surface soils: model implementation and dose-rate computation [Текст] / R.H. Velasco, M. Belli, U. Sansone [et al.] // Health Physics. – 1993. – V. 64(1) – P. 37–44.
7. Miller, K.M. ^{137}Cs fallout depth distributions in forest versus field sites: implications for external gamma dose rates [Текст] / K.M. Miller, J.L. Kuiper, I.K. Helfer // Journal of Environment Radioactivity. – 1990. – N 12. – P. 23–47.
8. Комплексное радиационно-гигиеническое обследование населения загрязненных районов Брянской, Тульской и Орловской областей [Текст]: отчет НИИРГ N 029.040 003437. – С-Пб, 1993.
9. Оценка текущих доз в 1994г и прогноз облучения населения территорий РФ, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС [Текст]: отчет НИИРГ. – С-Пб, 1994.
10. Helton, J.C. Contamination of surface water bodies after reactor accidents by the erosion of atmospherically deposited radionuclides [Текст] / J.C. Helton, A.B. Muller, A. Bayer // Health Physics. – 1985. – V. 48, N6. – P. 757–771.
11. Коноплев, А.В. Миграция в почве и поверхностный сток радиоактивных продуктов в зоне Чернобыльской АЭС [Текст] / А.В. Коноплев, А.А. Булгаков, И.Г. Шкуратова // Метрология и гидрология. – 1990. – N 6. – С. 119–121.
12. Израэль, Ю.А. Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне Чернобыльской атомной электростанции [Текст] / Ю.А. Израэль, В.Н. Петров, С.И. Авдюшин [и др.] // Метеорология и гидрология. – 1987. – N 2. – С. – 18.
13. Зиман, А.Д. Дезактивация [Текст] / А.Д. Зиман, В.К. Пикалов. М.: АТ, 1994.

O.N. Prokof'ev

Estimation of the decreasing of ^{137}Cs sediment in the soil due to horizontal flowing

Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev»
of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

Abstract. The purpose of the work is to estimate the possible decreasing of the density of ^{137}Cs sediment in the soil influenced by the horizontal flowing basing on the analysis of on location observations on the density of ^{137}Cs sediment in the soil after the Chernobyl accident.

Key words: radioactive sediment, soil, flowing, exposure dose.

Поступила 9.09.08.