

ОБОСНОВАНИЕ И ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ^{137}Cs В СИСТЕМЕ «ПОЧВА - РАСТЕНИЕ»

Б. С. Пристер¹, В. Д. Виноградская¹, Л. В. Перепелятникова²

¹ *Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев*

² *Институт гражданской защиты МЧС Украины, Киев*

Показано, что коэффициент перехода $\text{TF } ^{137}\text{Cs}$ из почвы в растения определяется временем его взаимодействия с почвой t и величиной комплексной оценки свойств почвы S_{ef} и не зависит от плотности загрязнения почвы σ . Взаимосвязь между блоками системы «почва - растение» в предложенной модели характеризуют параметры TF , период полууменьшения коэффициента перехода T_e и константа λ , отражающая изменения свойств почвы. Параметры модели определены эмпирическим путем для широкого диапазона экологических условий и набора культур, включающего основные компоненты рациона человека и животных. Это позволяет прогнозировать содержание ^{137}Cs в основных сельскохозяйственных культурах с точностью, достаточной для оценки радиационной обстановки при загрязнении окружающей среды.

Введение

Опыт ликвидации радиационных аварий показывает необходимость по возможности точного предсказания уровня загрязнения пищевых продуктов, так как соображения радиационной безопасности населения обуславливают консервативность прогнозов. Обычно, в случае отсутствия надежных данных о параметрах радиационной обстановки и определяющих ее факторах, используют верхние значения оценок. При кажущейся гуманности такой консервативности реальная плата за неопределенность оказывается очень высокой: большие объемы контрмер требуют часто непомерных затрат материальных и финансовых ресурсов, не позволяют соблюсти принцип приоритетности и, в результате, существенно снижают эффективность защитных действий.

Новые данные о быстром изменении во времени поведения в почве и биологической доступности радиоактивного цезия в широком спектре экологических условий позволяют принципиально уточнить как структуру существующих моделей перехода его из почвы в растения, так и численные значения их параметров [1]. В ходе мониторинга после аварии на ЧАЭС накоплен значительный объем экспериментальных данных о поведении радиоцезия в пищевых цепях, которые использованы для обоснования и параметризации модели поведения в системе «почва - растения».

До настоящего времени в прогнозировании содержания радиоцезия в урожае сельскохозяйственных культур обычно используют коэффициент перехода TF (transfer factor), характеризующий определенные группы почв, т.е. применяют дискретные оценки в соответствии с их классификацией. Значения всех количественных характеристик в каждой классификационной группе почв варьируют в широком интервале от 2 до 20 раз, что обуславливает неоправданно высокий коэффициент запаса. С целью повышения точности прогноза проведено экспериментальное обоснование модели поведения ^{137}Cs в системе «почва - растение».

Материалы и методы

Исследования динамики содержания ^{137}Cs в почвах и урожае 16 сельскохозяйственных культур, формирующих, в основном, рационы питания человека и кормления животных, начаты с 1987 г. Образцы почв и сельскохозяйственных культур отбирали в 31 коллективном хозяйстве, расположенных в наиболее загрязненных районах пяти областей Украины. С 1991 г. отбор проб проводили в 12 хозяйствах этих же районов. Основные типы исследованных почв являются представительными для Украины. Их агрохимические свойства представлены в табл. 1.

Таблица 1. Агрохимические свойства исследуемых типов почв Украинского Полесья

Тип почвы	pH	Гумус, %	Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г почвы	K, мг/100 г почвы	Ил, %
Торфяно-болотная	3,8 - 6,6	-	2,3 - 19,0	2,0 - 18,5	-
Дерново-подзолистая	3,9 - 7,2	0,38 - 3,2	2,9 - 20,1	2,4 - 20,0	5,0 - 19,3
Серая лесная	4,9 - 6,6	0,60 - 2,1	7,5 - 19,9	4,0 - 12,6	12,1 - 32,4
Чернозем	5,4 - 7,5	1,5 - 3,9	10,5 - 33,1	11,6 - 37,1	24,7 - 27,2

На каждом поле, где отбирали пробы растений, были отобраны пробы почв для определения агрохимических свойств и плотности загрязнения (не менее девяти полей в каждом хозяйстве). Методика отбора проб обеспечивала пространственное совмещение (сопряжение) проб растений и почвы, т. е. пробы растений отбирали с той же площади, что и пробы почвы. Средний образец с каждого поля состоял из 25 отдельных образцов, отобранных по методу конверта (пять конвертов по пять образцов), что обеспечивало хорошую представительность результатов. Шаг конвертов изменялся пропорционально размерам поля.

Средний образец злаковых растений отбирали с площадки $0,5 \times 0,5 \text{ м}^2$ в 25 повторностях на каждом поле; средний образец пропашных культур и овощей состоял из 50 растений (отбирали по 10 растений в пяти рядках). Таким образом, в контролируемых хозяйствах ежегодно отбирали представительные образцы каждого вида культур. Образцы растений высушивали до воздушно-сухого состояния и измельчали. Почвы отбирали буром диаметром 10 см на глубину пахотного горизонта 20 - 25 см. Усредненные образцы почвы высушивали, измельчали, просеивали сквозь сито с размером отверстий 1 мм и помещали в чашки Маринелли.

Концентрацию ¹³⁷Cs в растениях и почве определяли на высокоэффективном низкофоновом гамма-спектрометре "ADCAM-300" с полупроводниковым детектором "GEM-30185" из высокочистого германия производства EG&ORTEC (USA). Время измерения обеспечивало не менее чем 10 %-ную надежность результатов.

Для разработки динамических моделей и определения их параметров использовано более 3000 значений TF (пар «почва - растение»). Важная особенность использованных в работе данных состоит в том, что они были верифицированы с использованием таких критериев, как «*степень доверия*» и «*экспертная оценка*», учитывающих абсолютные значения параметров и их соответствие свойствам почв и основным радиэкологическим закономерностям.

Значения TF в каждый год исследования были усреднены для каждой культуры на одном и том же типе почвы. Каждая экспериментальная точка представлена минимум тремя и максимум 15 значениями TF.

Динамика TF ¹³⁷Cs из почвы в сельскохозяйственные культуры

Плотность загрязнения почв ¹³⁷Cs в контролируемых хозяйствах изменялась в широких пределах от 100 до 3000 кБк·м². В этих условиях оценивать параметры динамики коэффициента перехода радиоцезия из почвы в растения можно только после исследования зависимости удельной активности радионуклида SA от плотности загрязнения почвы σ .

Парадигмой радиобиологии является прямая зависимость накопления радионуклидов в природных и биологических цепях от количества атомов радиоактивного элемента [2], однако в период после аварии на Чернобыльской АЭС линейная зависимость $SA = f(\sigma)$ опровергалась рядом исследователей [3, 4]. Если принять нелинейность такой зависимости, то можно прийти к абсурдному выводу о повышенной радиационной опасности чистых территорий по сравнению с более загрязненными.

Анализ 641 сопряженной пары «почва - растение» для различных типов почвы и видов растений в разные сроки после аварии подтвердил существование прямой зависимости

$SA = TF \cdot \sigma$ ($R^2 \approx 0,90$). Полученные данные позволяют сделать важный вывод о том, что в конкретных условиях величина TF не зависит от величины σ и коэффициенты перехода можно сравнивать независимо от уровня загрязнения почвы, при котором их значение было определено. Независимость TF ^{137}Cs от плотности загрязнения почвы свидетельствует о том, что абсолютное значение содержания доступных для растения форм радионуклида чернобыльских выпадений на дальних следах возрастает прямо пропорционально увеличению общего содержания его в почве [5].

Установлено, что удельная активность ^{137}Cs в сельскохозяйственных культурах быстро уменьшалась во времени (табл. 2). Сопоставление абсолютных значений SA ^{137}Cs в урожае изученных сельскохозяйственных культур показывает значительные видовые различия в накоплении ^{137}Cs : наименьшие на черноземе с высоким содержанием глинистых минералов, наибольшие - на торфе, где очень низкое содержание иловатой фракции в целом. На одном и том же типе почвы накопление ^{137}Cs в сене трав в 8 - 30 раз выше, чем в зерне злаков.

Таблица 2. Изменение во времени удельной активности ^{137}Cs в урожае некоторых сельскохозяйственных культур на различных типах почвы Киевской области

Годы	Культура, тип почвы, район			
	Сено естественных трав, торфяно-болотная, Полесский	Томаты, дерново-подзолистая, Бородянский	Свекла, серая лесная, Белоцерковский	Озимая пшеница, чернозем, Фастовский
1987	68740	780	80	44
1989	22090	930	94	37
1994	-	31	53	-
1998	2460	20	19	5,9
2001	2810	12	25	4,6

Анализ 48 выборок $TF(t)$, характеризующих его динамику на протяжении 17 послеаварийных лет, для 16 сельскохозяйственных культур и четырех типов почв показал (рис. 1, а) постепенное снижение TF во времени. Функция $TF = f(t)$ является экспоненциальной и состоит из 2 компонент – быстрой (q - quickly) и медленной (s - slowly). Все кривые зависимости TF ^{137}Cs от времени t (рис. 1, б) можно аппроксимировать экспоненциальной функцией вида

$$TF(t) = TF_0^{q+s} \cdot \left[a_0^q \cdot \exp\left(-0.693 \cdot \frac{t}{T_e^q}\right) + a_0^s \cdot \exp\left(-0.693 \cdot \frac{t}{T_e^s}\right) \right] \quad (1)$$

где $TF_0^{q+s} = TF_0^q + TF_0^s$ - экстраполированы к 1986 г. (год выпадений) (табл. 3); a_0^q , $a_0^s = 1 - a_0^q$ - доли первоначального содержания нуклида в почве с периодами полууменьшения T_e^q и T_e^s (обменная и фиксированная формы) (табл. 4).

Значения TF_0^q и TF_0^s для всех исследуемых сельскохозяйственных культур уменьшаются от 10 до 40 раз в таком ряду почв: торфяно-болотная, дерново-подзолистая, серая лесная, чернозем, а в ряду культур от сена естественных трав до зерна зерновых в 3 - 33 раза. Внутри групп культур различия в их значениях не превышали двух раз.

Доля формы ^{137}Cs в почве a_0^q , TF для которой уменьшается во времени быстро (обменная фракция), в начальный период времени после выпадений составляет 0,87 - 0,99 и

уменьшается в ряду почв: чернозем, серая лесная, дерново-подзолистая, торфяно-болотная почва. Таким образом, распределение ^{137}Cs между обменной и фиксированной формами существенно зависит от типа почвы.

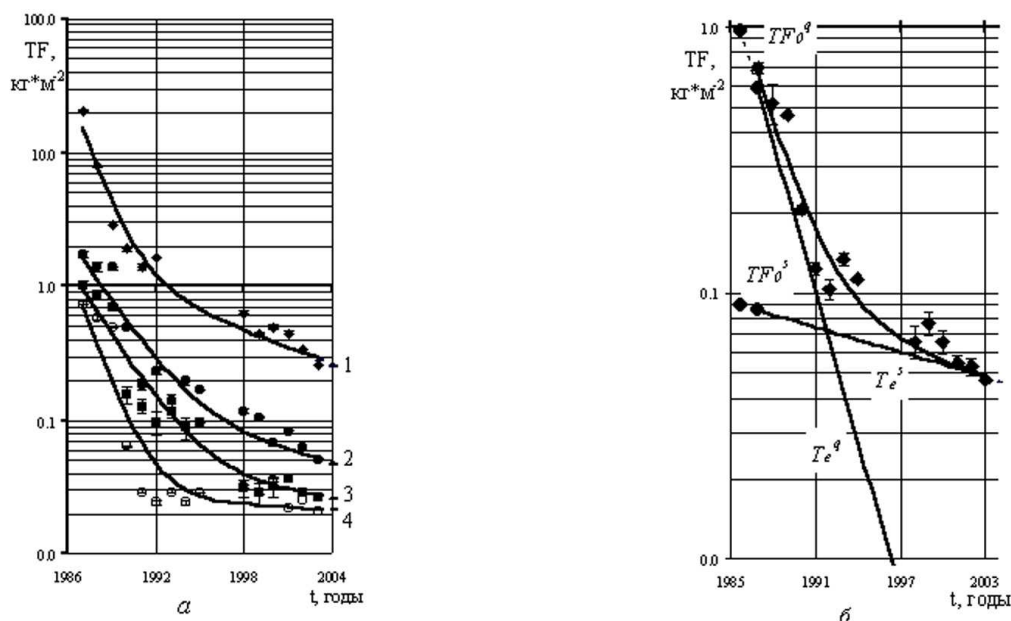


Рис. 1. Динамика коэффициента перехода $TF^{137}\text{Cs}$: *а* - в зеленую массу кукурузы для различных типов почвы: 1 - торфяно-болотной; 2 - дерново-подзолистой; 3 - серой лесной; 4 - чернозема; *б* - для озимой пшеницы на дерново-подзолистой почве.

Таблица 3. Средние значения коэффициентов перехода ^{137}Cs для основных групп культур, экстраполированных на 1986 г., $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$

Группа культур	Тип почвы							
	Торфяно-болотная		Дерново-подзолистая		Серая лесная		Чернозем	
	TF_0^q	TF_0^s	TF_0^q	TF_0^s	TF_0^q	TF_0^s	TF_0^q	TF_0^s
Сено естественных трав	218	22	25	0,78	10	0,49	-	-
Сено сеяных злаковых трав	89	4,7	6,0	0,38	4,8	0,11	3,7	0,019
Зеленые корма <i>кукуруза, люцерна, клевер</i>	35	1,4	3,4	0,37	1,5	0,18	1,9	0,039
Овощи <i>капуста, томаты, огурцы</i>	-	-	3,3	0,17	2,0	0,031	1,4	0,014
Клубни, корнеплоды <i>лук, свекла, картофель</i>	11	0,84	1,5	0,10	0,55	0,064	0,56	0,017
Зерновые <i>озимая пшеница, ячмень, рожь</i>	6,6	0,81	0,80	0,10	0,57	0,048	0,35	0,019
Кратность различий, раз	33	27	31	7,8	18	10	11	2,8

На одном типе почвы различия значений периодов полууменьшения коэффициента перехода радиоцезия T_e^q и T_e^s не выходят за пределы точности их определения для всех культур. Это позволяет сделать вывод о том, что динамика $TF^{137}\text{Cs}$ обусловлена не биологическими особенностями растений, а спецификой взаимодействия нуклида с почвой.

Таблица 4. Средние значения периодов полууменьшения ТФ ^{137}Cs для обменной (T_e^q) и селективно сорбированной (T_e^s) форм радионуклида в почве для основных групп культур, годы

Группа культур	Тип почвы							
	Торфяно-болотная		Дерново-подзолистая		Серая лесная		Чернозем	
	T_e^q	T_e^s	T_e^q	T_e^s	T_e^q	T_e^s	T_e^q	T_e^s
Сено естественных трав	0,87	5,7	2,1	28	1,6	26	-	-
Сено сеяных злаковых трав	0,92	6,6	2,0	11	1,9	35	1,3	53
Зеленые корма <i>кукуруза, люцерна, клевер</i>	0,97	7,1	1,8	24	1,7	36	1,2	91
Овощи <i>капуста, томаты, огурцы</i>	-	-	1,5	14	1,7	26	1,3	124
Клубни, корнеплоды <i>лук, свекла, картофель</i>	0,88	6,4	2,2	21	1,7	46	1,3	136
Зерновые <i>озимая пшеница, ячмень, рожь</i>	0,88	6,9	1,8	39	1,8	75	1,2	66
Среднее для всех культур	0,89	6,6	1,8	28	1,8	50	1,3	112
Кратность различий, раз	1,2	1,4	1,8	6,9	1,1	3,5	1,4	5,0

Модель процессов трансформации форм ^{137}Cs в почве, определяющих наблюдаемую динамику ТФ, можно описать, используя следующие представления. Ион Cs^+ усваивается корневой системой растения только из почвенного раствора. Концентрация цезия в растворе, в основном, определяется процессами сорбции его на органических, органо-минеральных коллоидах и заряженных поверхностях минералов - первый этап поглощения. Второй этап - поглощение ^{137}Cs на местах селективной частично обменной сорбции *FES*, локализованных в устьевых областях кристаллической решетки глинистых минералов группы 2:1 [6]. На протяжении третьего этапа ^{137}Cs постепенно переходит в центры экстремально высокой селективности *HAS* (межпакетные пространства глинистых минералов). Характерное время установления равновесия между звеньями цепи: *WS* (водно-растворимая форма) - *RES* (обменно поглощенная форма) - минуты-часы; *RES-FES* - месяцы-годы; *FES-HAS* - десятки лет. Сопоставляя значения периодов полууменьшения коэффициентов перехода радиоцезия с характерными временами, можно предположить, что T_e^q характеризует скорость трансформации обменных ионов цезия из *RES* в прочно сорбированные *FES*, а T_e^s - из *FES* в высокоселективные формы *HAS*. Скорость перехода ^{137}Cs из *RES* в *FES* характеризуется средним значением периода полууменьшения концентрации радионуклида T_e^q для всех типов почв и составляет 1,4 года (0,9 - 1,8 лет). Скорость перехода из *FES* в *HAS* оценивается T_e^s , который изменяется для различных почв от 6,6 до 112 лет. Продолжительность времени взаимодействия радионуклида с почвой после аварии пока еще меньше значений T_e^s , поэтому точность определения его не может быть высокой. Анализ данных табл. 4 позволяет отметить тенденцию снижения T_e^q в интервале почв от дерново-подзолистых до чернозема, максимально быстрое снижение доступности было отмечено для торфяных почв.

Отношение содержания легко- и труднодоступных форм ^{137}Cs уравнивается в почве через 3 - 5 периодов T_e^q , т.е. вклад этих форм в загрязнение растений становится сравнимым через 3 - 5 лет после выпадений. Через 5 - 6 лет концентрация Cs^+ в почвенном растворе преимущественно определяется десорбцией ионов из центров *FES*. Этот процесс и определяет радиационную ситуацию в отдаленный период после аварии.

Прогнозирование перехода ^{137}Cs из различных типов почв в растения

Прогнозирование перехода радионуклидов в растения из почв разных типов является одной из ключевых задач современной радиозологии. Анализ данных, накопленных после чернобыльской аварии, показал, что тесная функциональная зависимость между $\text{TF } ^{137}\text{Cs}$ и основными свойствами почвы (рН почвенного раствора, емкость поглощения катионов Е и содержание органического вещества ОВ, содержание обменных калия и кальция) сохраняется только в очень узком интервале. Наблюдается варьирование этих интервалов для различных характеристик [7]. Представляется целесообразным для характеристики почвы использовать комплексную оценку свойств почвы (КОСП) [8].

Для обоснования способа оценки КОСП, как среды геохимической и биогенной миграции радионуклидов, мы предложили представить почву в качестве природного тела, объединяющего три фазы: твердую – минеральный скелет, жидкую – почвенный раствор и промежуточную - квазикристаллическую или квазижидкую (органическое вещество, комплексы органического вещества с минеральным каркасом, мицеллы и др.) (рис. 2). Оценить свойства почвы количественно можно только на основе представления о неразрывной связи всех компонентов системы.

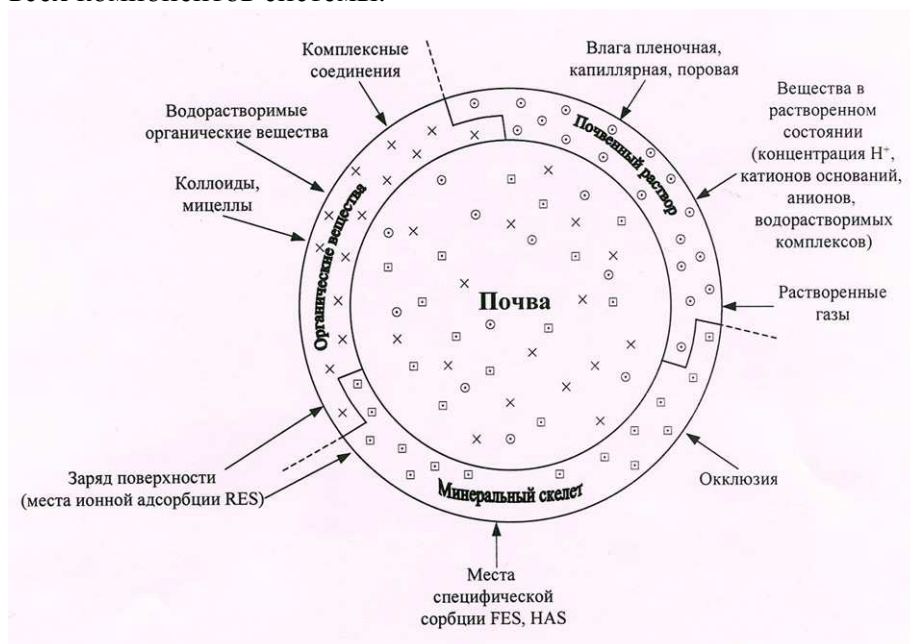


Рис. 2. Схематическое представление почвы, как трехфазной системы, и основные свойства и функции фаз, определяющие распределение ионов между твердой и жидкой фазами. Не показаны газовая среда и биота.

Усвоение веществ корнями пропорционально десорбции ионов с площади сорбционной поверхности (емкости). Мы предлагаем рассматривать эту площадь как эффективное сечение реакции обмена, зависящее для конкретного радионуклида от свойств i -й почвы.

Экспериментально оценить такую величину очень сложно, поэтому рассмотрим более простой эмпирический метод. В трехмерном пространстве (рис. 3), измерения которого представляют взаимно перпендикулярные векторы - свойства почвы, определяющие полноту и прочность сорбции иона, эффективное сечение реакции для i -й почвы может быть представлено площадью треугольника S_{efi} , вершины которого лежат в соответствующих значениям векторов точках на осях pH_i , $ОВ_i$ и $Е_i$ или $СПО_i$.

Параметры, используемые для нахождения S_{efi} , имеют разную размерность, поэтому их значения должны быть нормированы. Величину рН целесообразно нормировать на значение, соответствующее нейтральной реакции почвенного раствора $pH_{max} = 7$, содержание ОВ и СПО - на высшие значения для ряда рассматриваемых почв – в нашем случае $ОВ_{max} = 6\%$ и $СПО_{max} = 40$ мг-экв/100 г почвы соответственно. Сопоставимость данных различных авторов можно обеспечить только при соблюдении единого принципа нормирования. Если характеристики почвы окажутся больше назначенных значений, нормированная величина параметра будет больше единицы.

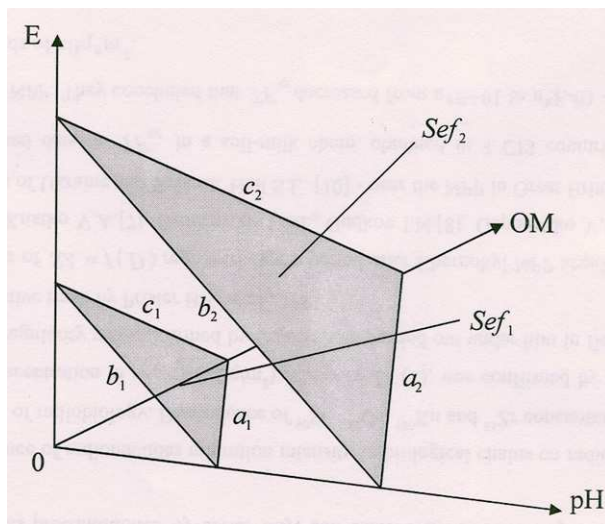


Рис. 3. Графическое представление способа нахождения комплексной оценки свойств почвы как площади сечения объема трехфазной системы в трехмерном пространстве: S_{ef1} - для дерново-подзолистой почвы, S_{ef2} - для чернозема.

Обработка данных о накоплении ^{137}Cs исследуемыми культурами на всех типах почвы (рис. 4) показала, что зависимость TF_{ij} от площади сечения S_{efi} может быть хорошо ($R^2 \approx 0,80$) аппроксимирована степенной зависимостью, представленной ниже.

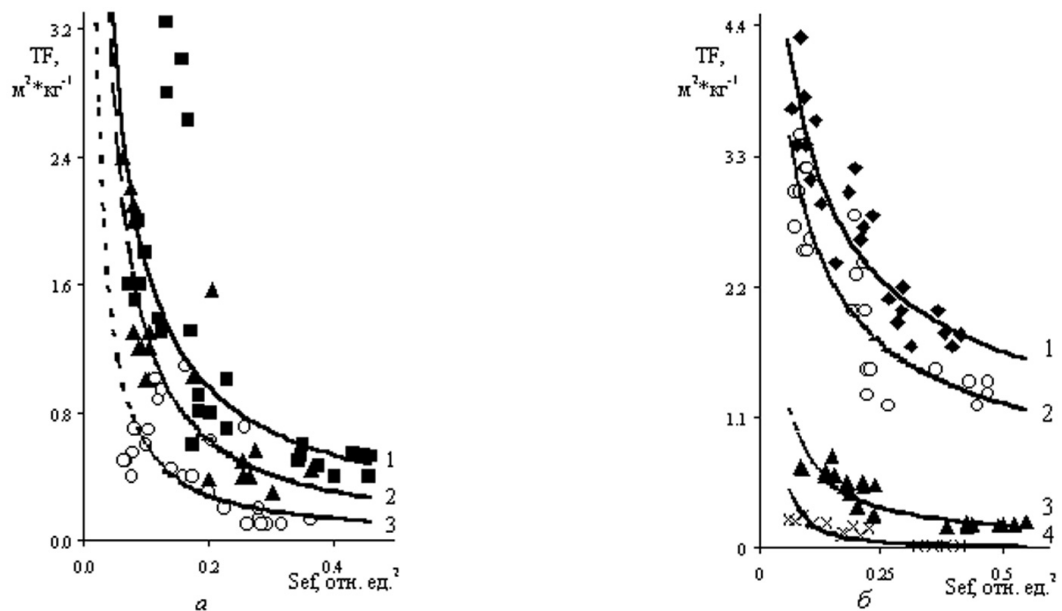


Рис. 4. Зависимость коэффициента перехода $TF^{137}\text{Cs}$ в растения от комплексной оценки свойств почвы S_{ef} по триаде ОВ-рН-СПО: а - в 1989 г. для: 1 - зеленой массы кукурузы, 2 - плодов томатов, 3 - клубней картофеля; б - для сеяных трав в различные годы: 1 - 1987, 2 - 1989, 3 - 1994, 4 - 2001.

$$TF_{ij} = TF_{0j}(S_{efi} = 1) \cdot S_{efi}^{-\lambda_j} \quad (2)$$

где TF_{ij} – коэффициент перехода радионуклида из i -й почвы в j -ю культуру; $TF_{0j}(S_{efi} = 1)$ - $TF^{137}\text{Cs}$ в j -ю культуру из почвы, площадь эффективного сечения $S_{efi} = 1$; λ_j – показатель степени для j -й культуры, отн. ед.⁻¹.

Параметр $TF_{0j}(S_{efi} = 1)$ по смыслу представляет собой вероятное значение $TF^{137}\text{Cs}$ в j -ю культуру из i -й почвы, нормированные значения параметров которой равны 1. Его значение может быть использовано в качестве критерия сродства j -й культуры к радиоцезию. Показатель степени λ_j характеризует влияние изменения сорбционных свойств i -й почвы на накопление ^{137}Cs j -й культурой. Чем выше λ_j , тем медленнее уменьшается TF по мере улучшения свойств почвы.

Усредненные за период 1987 - 2001 гг. параметры уравнения (2) для некоторых сельскохозяйственных культур, сеяных и природных луговых трав приведены в табл. 5.

Таблица 5. Параметры уравнения 2 для сельскохозяйственных культур, произрастающих на разных типах почв (1994 г.)

Культура	TF _{0j} (S _{eff} =1), м ² ·кг ⁻¹	Показатель степени λ _j
Сено естественных трав	0,47	0,96
Сено сеянных злаковых трав	0,32	0,77
Зеленые корма кукуруза, люцерна, клевер	0,34	0,79
Овощи капуста, томаты, огурцы	0,28	0,86
Клубни, корнеплоды лук, свекла, картофель	0,022	1,1
Зерновые озимая пшеница, ячмень, рожь	0,011	1,7

На основании рассмотренных закономерностей и модельных представлений была предложена формула расчета концентрации SA_{ij}¹³⁷Cs (Бк·кг⁻¹) в j-й культуре, выращиваемой на i-й почве для времени t после аварии:

$$SA_{ij}(t) = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{0,693}{T_{1/2}} \cdot t\right) \left\{ TF_{0j}(S_{ef} = 1) \cdot S_{ef_i}^{-\lambda_j} \cdot \left[a_0^q \cdot \exp\left(-\frac{0,693}{T_e^q} \cdot t\right) + a_0^s \cdot \exp\left(-\frac{0,693}{T_e^s} \cdot t\right) \right] \right\} \quad (3)$$

Выражение в квадратных скобках в уравнении (3) описывает динамику TF, обусловленную трансформацией форм радионуклида в почве с помощью характерных параметров T_e^q, T_e^s, a₀^q, a₀^s. Выражение перед квадратными скобками описывает изменение TF в зависимости от физико-химических и агрохимических свойств почвы. Выражение перед фигурной скобкой отражает изменение σ₀ вследствие физического распада T_{1/2} радионуклида после выпадений. Численные значения всех параметров для ¹³⁷Cs представлены выше.

Разработка модели и определение ее параметров в широком диапазоне почв и видов растений позволяет существенно снизить консерватизм прогнозов и оптимизировать затраты на ликвидацию последствий радиационных аварий.

Выводы

На территориях, загрязненных выпадениями после аварии на ЧАЭС, TF ¹³⁷Cs не зависит от плотности загрязнения почвы σ. Динамика доступности ¹³⁷Cs для усвоения растениями описана убывающей двухэкспоненциальной зависимостью. Ведущую роль в уменьшении уровня загрязнения растений после выпадений играют процессы трансформации форм радионуклида в почве, интенсивность которых существенно превосходит скорость процессов самоочищения.

Параметры, характеризующие взаимосвязь между компонентами системы “почва - растение”, такие как TF_{0j}, T_e и λ_j, определены эмпирическим путем для широкого интервала почвенных условий, видов растений и 17-летнего периода наблюдений.

Предложенный метод позволяет прогнозировать концентрацию ¹³⁷Cs в основных сельскохозяйственных культурах не дискретно для каждого типа почвы, как в методе группирования, а непосредственно для почвы с конкретными агрохимическими свойствами. Это позволяет повысить точность прогнозов и уменьшить их консерватизм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пристер Б.С.* Последствия аварии на Чернобыльской АЭС для сельского хозяйства Украины // Исследования ЦПЭР. – К., 1999. - № 20. - 104 с.
2. *Клечковский В.М., Целищева Г.Н.* О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступлении в растения и накоплении в урожае. - М.: Изд-во АН СССР, 1956. - С. 3 - 74.
3. *Кнатко В.А., Агеев В.Ю.* Оценка зависимости коэффициента перехода ^{137}Cs и элементов минерального питания растений // Радиационная биология. Радиозэкология. - 1999.- Т. 39, № 6. - С. 675 - 682.
4. *Beresford N.A., Howard B, Strand P et al.* Fluxes of radionuclides // Time dependent optimization of strategies for countermeasures use to reduce population radiation dose and reclaim abandoned land (RECLAIM). Strategies for countermeasures use to reduce population radiation dose and reclaim abandoned lands EU Contract № ERBIC15 CT 960209. - 2000.
5. *Prister B.S., Barjakhtar V.G., Perepelyatnikova L.V. et al.* Experimental Substantiation of the Model Describing ^{137}Cs and ^{90}Sr Behavior in a Soil-Plant System // Environmental Science and Pollution Research. Special Issue of the International Journal. - 2003. - No. 1 - P. 126 - 136.
6. *Коноплев А.В.* Подвижность и биологическая доступность радиоцезия и радиостронция аварийного происхождения в системе "почва - вода": Дис. ... д-ра биол. наук. - Обнинск, 1997. - 319 с.
7. *Пристер Б.С., Перепелятникова Л.В., Дугинов В.И., Хомутигин Ю.В.* Основные факторы, определяющие поведение радионуклидов в системе почва-растения // Проблемы с.-х. радиологии: Сб. науч. тр. / Под ред. Н. А. Ложилова. - К., 1992. - Вып. 2. - С. 108 - 117.
8. *Пристер Б., Бизольд Г., Девиль-Кавелин Ж.* Способ комплексной оценки свойств почвы для прогнозирования накопления радионуклидов растениями // Радиационная биология. Радиозэкология. - 2003. – Т. 43, № 6. - С. 688 - 696.

Поступила в редакцию 14.03.06

12 ОБГРУНТУВАННЯ ТА ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ МОДЕЛІ ПОВЕДІНКИ ^{137}Cs В СИСТЕМІ «ГРУНТ - РОСЛИНА»**Б. С. Прістер, В. Д. Виноградська, Л. В. Перепелятнікова**

Показано, що коефіцієнт переходу $\text{TF } ^{137}\text{Cs}$ з ґрунту в рослини визначається часом його взаємодії з ґрунтом t та величиною комплексної оцінки властивостей ґрунту S_{ef} і не залежить від щільності забруднення ґрунту σ . Взаємозв'язок між блоками системи «ґрунт - рослина» в запропонованій моделі характеризують параметри TF , період напівзменшення коефіцієнта переходу T_e і константа λ , що відображає зміну властивостей ґрунту. Параметри моделі визначено емпіричним шляхом для широкого діапазону екологічних умов і набору культур, який включає основні компоненти раціону людини і тварин. Це дозволяє прогнозувати вміст ^{137}Cs в основних сільськогосподарських культурах з точністю, достатньою для оцінки радіаційної ситуації при забрудненні навколишнього середовища.

12 SUBSTANTIATION AND PARAMETERISATION OF THE MODEL DESCRIBING ^{137}Cs BEHAVIOUR IN A «SOIL - PLANT» SYSTEM**B. S. Prister, V. D. Vynogradskaja, L. V. Perepelyatnikova**

It was shown ^{137}Cs transfer factor (TF) from soil in plant is determined by time of incubation radionuclide in soil t and complex of soil properties S_{ef} and independent from density of soil contamination σ . Parameters characterising interrelation among main compartments of a "soil - plant" system as TF, period of half decreasing of TF - T_e and constant reflecting changes of a soil properties λ . These parameters are determined in empirical way for a wide range of ecological conditions and crops including main components of human and animals diet. The proposed method allows to predict ^{137}Cs concentration in main agricultural crops with adequate accuracy for estimate radiation situation after environmental contamination.