

UDC 574

**APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELS TO ASSESS THE ROLE OF
NATURAL PROCESSES, COUNTERMEASURES AND RADIOACTIVE DECAY
IN REDUCING ^{137}Cs ACCUMULATION BY AGRICULTURAL CROPS**

¹ Anna V. Muzalevskaya

² Alexey V. Panov

¹ Russian Institute of Agricultural Radiology
and Agroecology, RAAS, Kievskoe shosse, 109 km.
Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia
PhD (biological), Researcher
E-mail: anna-muza@rambler.ru

² Russian Institute of Agricultural Radiology
and Agroecology, RAAS, Kievskoe shosse, 109 km.
Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia
doctor of biological sciences, head of sector
E-mail: riar@mail.ru

The paper deals with the assessment of contributions from natural processes and protective measures to ^{137}Cs reduction in farm crops in different periods after the Chernobyl NPP accident using the mathematical models.

Key words: Chernobyl accident, farm crops, radioactive contamination, protective measures.

После аварии на Чернобыльской АЭС одним из наиболее тяжелых ее последствий стало крупномасштабное загрязнение сельскохозяйственных угодий долгоживущими радионуклидами ^{137}Cs . На снижение загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственной продукции оказывает влияние три группы факторов: естественные биогеохимические процессы, определяющие уменьшение биологической доступности радионуклидов в системе почва – растения; защитные мероприятия (контрмеры) и радиоактивный распад. На основе регрессионного уравнения, описывающего динамику перехода ^{137}Cs из почвы в растения, с учетом контрмер, был определен вклад различных процессов в снижение накопления этого радионуклида в сельскохозяйственной продукции. Выполнение таких оценок проводилось с использованием экологических периодов полуснижения (T_e), равных времени, в течение которого содержание радионуклидов в растениях под влиянием всех факторов (за исключением радиоактивного распада) уменьшается в 2 раза. T_e рассчитывали используя следующее выражение:

$$T_e = \frac{T_{eff} \cdot T_{1/2}}{(T_{1/2} - T_{eff})}, \quad (1)$$

где T_{eff} - эффективный период полуснижения, а $T_{1/2}$ - период полураспада ^{137}Cs . Эффективный период полуснижения (T_{eff}), т.е. период времени, в течение которого содержание радионуклидов в растениях под влиянием всех факторов уменьшается в 2 раза оценивали на основе следующего выражения:

$$T_{eff} = \frac{0,693}{\lambda_p + \lambda_i} \quad (2)$$

где λ_p – константа распада; λ_i – константы скорости снижения коэффициентов перехода (КП) ^{137}Cs , год $^{-1}$.

Вклад каждого из трех выделенных выше факторов можно оценить на основе сравнения периодов полуснижения содержания ^{137}Cs в растениях для различных вариантов интенсивности контрмер (или их отсутствия). Период полуснижения содержания радионуклидов в растениях, обусловленный только защитными мероприятиями (T_c) оценивали на основе следующего выражения:

$$\frac{1}{T_c} = \frac{1}{T_{eff}} - \frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_{1/2}}, \quad (3)$$

где T_n – период полуснижения, в отсутствие контрмер.

Оценив T_{eff} и T_n для различных видов продукции растениеводства (зерно, картофель, овощи, сенаж, сено, силос), был рассчитан процентный вклад каждой из выделенных групп факторов в снижение загрязнения ^{137}Cs растений для различных вариантов интенсивности проведения защитных мероприятий и периодов времени после радиоактивных выпадений.

Так, в первый период после аварии на ЧАЭС (1987-1991 гг.) на участках, где защитные мероприятия не проводились, основной вклад в снижение накопления ^{137}Cs растениями вносили природные биогеохимические процессы (в среднем до 95 %), а вклад радиоактивного распада не превышал 5 %. Это было связано с тем, что поступившие в окружающую среду радионуклиды интенсивно фиксировались в почве, становясь менее биологически доступными для включения в сельскохозяйственные цепи миграции. В последние годы (1998–2006 гг.), снижение накопления ^{137}Cs растениями определяется в основном распадом этого радионуклида - вклад около 75 %.

Иная ситуация наблюдалась на участках с умеренным вариантом применения защитных мероприятий. Так, в первый период после аварии, доминирующим в снижении накопления ^{137}Cs растениями являлся вклад естественных биогеохимических процессов, однако он был несколько ниже, чем на участках, где защитные мероприятия не проводились и составлял около 78 %. На радиоактивный распад при этом приходилось приблизительно 4 %, но довольно существенный вклад в снижение накопления радионуклидов растениями вносили защитные мероприятия – в среднем 18 %. В отдаленный период после аварии, вклад распада ^{137}Cs в снижение накопления этого радионуклида растениями становится в большинстве случаев доминирующим (в среднем около 55 %). Роль защитных мероприятий в этот процесс становится минимальной – 5 %. При этом вклад природных процессов также сокращается с 64 до 40 %.

На участках, где осуществлялся интенсивный вариант проведения защитных мероприятий, их вклад в снижение поступления ^{137}Cs в сельскохозяйственные растения проявлялся наиболее ярко. В первые годы после аварии, он был максимален и достигал в среднем 36 %. На втором месте по значимости роли в снижении накопления радионуклидов растениями были природные процессы (вклад около 60 %) и, наконец, вклад распада ^{137}Cs был минимален – всего 4 %. Представленные результаты позволяют сделать вывод, что в первый период после радиоактивных выпадений на динамику содержания ^{137}Cs в растениях основное влияние оказывали как природные биогеохимические процессы, так и интенсивное применение защитных мероприятий в сельском хозяйстве. В третий период после аварии вклад интенсивных контрмер в снижение накопления ^{137}Cs растениями стал минимален – 13 %, и вклад природных процессов также сократился до 37 %. Как и в других случаях, с течением времени после выпадений радионуклидов, роль их распада в рассматриваемых процессах возрастает.

Необходимо отметить, несмотря на то, что для всех рассматриваемых случаев применения защитных мероприятий в третий период после аварии на ЧАЭС вклад распада в снижение накопления радионуклидов растениями становится доминирующим в то же время, с увеличением интенсивности применения контрмер этот вклад снижается.

УДК 574

**ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РОЛИ
ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ, ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ
И РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА В СНИЖЕНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ^{137}Cs
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ РАСТЕНИЯМИ**

¹ Анна Александровна Музалевская

² Алексей Валерьевич Панов

¹ ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии

249032, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км.

кандидат биологических наук, научный сотрудник

E-mail: anna-muza@rambler.ru

² ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии

249032, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км.

доктор биологических наук, заведующий сектором

E-mail: riar@mail.ru

Статья посвящена оценке вкладов природных процессов и защитных мероприятий в снижение накопления ^{137}Cs сельскохозяйственными растениями в различные периоды после аварии на Чернобыльской АЭС, с помощью математических моделей.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, сельскохозяйственные растения, радиоактивное загрязнение, защитные мероприятия.