

УДК 631.95:577.391

ПЕРЕХОД ^{90}Sr И ^{137}Cs В ЦЕПИ ПОЧВА–КОРМ–ПРОДУКЦИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА НА ТЕРРИТОРИИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

© 2006 г. Е. В. Спири^{1*}, Р. М. Алексахин¹, М. В. Калмыков², В. Ю. Агеец³, В. С. Аверин³, Н. М. Лазарев⁴, Ж. Д. Кавеллин⁵, Г. Бизольд⁶

¹ ВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

² Центральная научно-производственная ветеринарная радиологическая лаборатория (ЦНПВРЛ), Москва, Россия

³ Республиканское научно-исследовательское учреждение институт радиологии (РНИУПИР), Гомель, Беларусь

⁴ Украинский НИИ сельскохозяйственной радиологии, Киев, Украина

⁵ Institute for Radioprotection and Nuclear Safety (IRSN), Франция

⁶ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), Германия

Проанализирована база данных по коэффициентам перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в цепи “почва–корм сельскохозяйственных животных–продукция животноводства”, созданной в рамках проекта “Радиологические последствия Чернобыльской аварии” по Германо-Французской инициативе. Определены коэффициенты перехода ^{137}Cs в 10 видов кормов сельскохозяйственных животных. Переход ^{137}Cs и ^{90}Sr из суточного рациона в 1 л молока практически не зависит от удоя и сезона года и составляет 0.83 и 0.16%. Коэффициент перехода ^{137}Cs в говядину (взрослые животные) равен 2.4% от суточного поступления с кормом на 1 кг мяса.

Коэффициент перехода, ^{137}Cs , ^{90}Sr , корм животных, молоко, мясо, Чернобыльская авария.

Институтом радиационной защиты и ядерной безопасности (IRSN, Франция) и Институтом ядерной безопасности (GRS, Германия) в рамках так называемой Германо-Французской инициативы проведены исследования по проекту “Радиологические последствия Чернобыльской аварии”. Проект был направлен на объединение усилий ученых России, Украины и Белоруссии по созданию баз пространственно распределенных данных о миграции радионуклидов по пищевой цепочке человека, радиологической обстановке в городах и деревнях, способах и методах защиты сельского и городского населения в регионе аварии на ЧАЭС. Одно из направлений работ этого проекта – сбор и обработка накопленной информации для создания базы данных по коэффициентам перехода радионуклидов в цепи почва–корм животных–продукция животноводства. Такие базы данных служат основой функционирования геоинформационных систем для обеспечения поддержки принятия решений в области радиационной безо-

пасности населения в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Из указанной выше пищевой цепочки только в звене почва–корм животных коэффициенты перехода ($K_{\text{п}}$) радионуклидов могут зависеть от места проведения исследований из-за различий в почвенных характеристиках [1]. Тем не менее, если ставить задачу по прогнозу загрязнения продукции животноводства в конкретных регионах, необходимо иметь пространственное распределение данных по переходу в полной цепи почва–корм–животное. Наличие статистических распределений загрязнения корма и продукции животноводства позволяет также определить территории с разным риском производства продукции, загрязненной выше нормативов [2]. Кроме этого привязка $K_{\text{п}}$ к местоположению пунктов наблюдения или отбора проб косвенно решает задачу по исследованию влияния факторов окружающей среды на величину этих $K_{\text{п}}$.

В настоящей работе представлен анализ созданной базы данных по загрязнению ^{137}Cs и ^{90}Sr основных составляющих рациона питания, молока и мяса сельскохозяйственных животных в отдельных регионах России (Брянская и Калужская

* Адресат для корреспонденции: 249032 Калужская обл., Обнинск, Киевское ш., 109 км., ВНИИСХРАЭ; тел.: (08439) 7-48-93; e-mail: spirin@riar.obninsk.org.

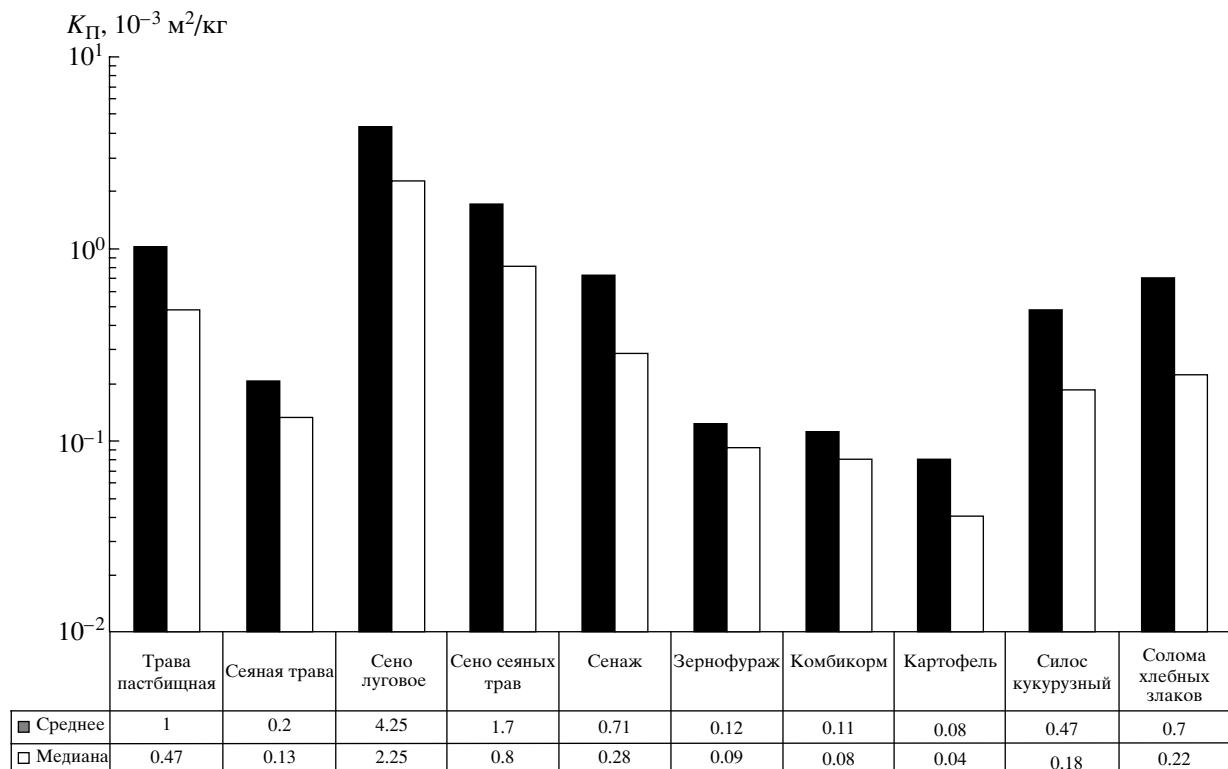


Рис. 1. $K_{\text{п}}$ ^{137}Cs в отдельные виды кормов сельскохозяйственных животных.

области), республики Беларусь (Гомельская область) и Украины (Киевская, Житомирская и Ровенская области) в 1990–1997 г. Собранные данные по загрязнению сельскохозяйственной продукции были использованы для установления равновесных коэффициентов перехода ^{90}Sr и ^{137}Cs из суточного рациона в молоко и говядину.

В базу вошли данные радиометрических и спектрометрических измерений активности ^{137}Cs в пробах 10 видов корма крупного рогатого скота (КРС), активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в мясе КРС, а также в пробах молока. $K_{\text{п}}$ радионуклидов рассчитывали для сопряженных проб. Так, значения удельной активности радионуклидов в отдельных пробах корма соотносились со средневзвешенной плотностью загрязнения сельскохозяйственных угодий того хозяйства, где осуществлялся отбор проб. Удельная активность радионуклидов в молоке соотносилась с суточным поступлением активности с кормом, измеренных в один и тот же день. Суммарное суточное поступление радионуклидов с кормом рассчитывали по данным о составе рациона и удельной активности каждой составляющей рациона.

Радиологические исследования проведены на территориях с плотностями загрязнения ^{137}Cs от 18 до 1500 $\text{кБк}/\text{м}^2$. Следовало ожидать, что при небольших плотностях загрязнения в значениях

$K_{\text{п}}$ радионуклидов будет присутствовать систематическая погрешность, связанная с отбрасыванием части проб, в которых удельная активность радионуклидов была ниже порога чувствительности аппаратуры. Действительно, проверка изменения $K_{\text{п}}$ радионуклидов в зависимости от плотности загрязнения почв показала, что для всех методов измерения роль систематической погрешности возрастает с уменьшением поверхностной активности радионуклидов на исследуемых территориях. Это оказалось справедливым для измерений, проведенных как радиометрическим, так и спектрометрическим методами. Чтобы избежать наличия систематической погрешности, из анализа исключали данные, полученные на территории с поверхностной активностью ^{137}Cs ниже 200 $\text{кБк}/\text{м}^2$.

Практически во всех массивах данных присутствуют выбросы, которые при анализе удалялись. Лишь после выделения из базы данных выборки, однородной по условиям ее определения и факторам окружающей среды, рассчитывали $K_{\text{п}}$ радионуклидов и его статистические параметры.

В связи с тем, что более 70% данных, полученных при обследовании кормов приходится на 1990 г., а остальные находились в пределах варьирования этой выборки, результаты исследований $K_{\text{п}}$ радионуклидов по отдельным видам кормов были объединены в одну общую выборку.



Рис. 2. Зависимость суточного удоя молока от питательности корма животных.



Рис. 4. Изменение $K_{\text{п}}^{90}\text{Sr}$ (1) и ^{137}Cs (2) “рацион–молоко” в течение года.

При сопоставлении результатов исследований, полученных разными организациями или проведенных при использовании разных средств измерения, было найдено, что наилучшее соответствие наблюдается для медианных значений $K_{\text{п}}$ радионуклидов.

Средние и медианные значения $K_{\text{п}}^{137}\text{Cs}$ для обследованных регионов приведены на рис. 1. Значения $K_{\text{п}}^{137}\text{Cs}$ для всех видов кормов рассчитаны на естественную влажность вещества проб.

Было исследовано влияние на $K_{\text{п}}$ радионуклидов в молоко таких факторов, как величина суточного удоя, питательность корма и сезон года. Проверка зависимости суточного удоя молока от питательности рациона показала, что они связаны прямопропорциональным соотношением (рис. 2). В связи с этим проверяли зависимость $K_{\text{п}}$ радионуклидов только от суточного удоя молока. На рис. 3 приведены данные радиологического мони-

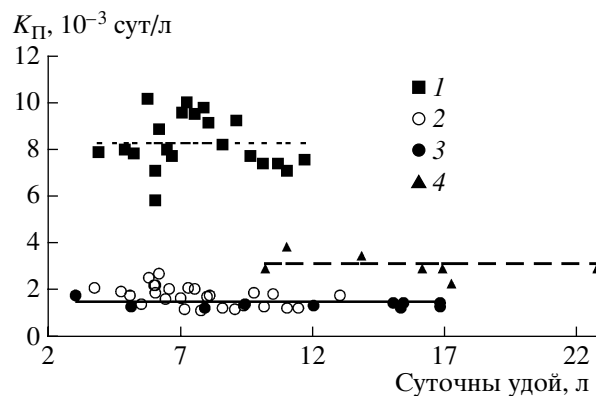


Рис. 3. Зависимость $K_{\text{п}}^{137}\text{Cs}$ и ^{90}Sr в молоко от суточного удоя коров (1 – ^{137}Cs ; 2 – ^{90}Sr , наши данные; 3 – ^{90}Sr , Анненков Б.Н. [3], 4 – ^{137}Cs , Voigt [4]; линии – средние значения).

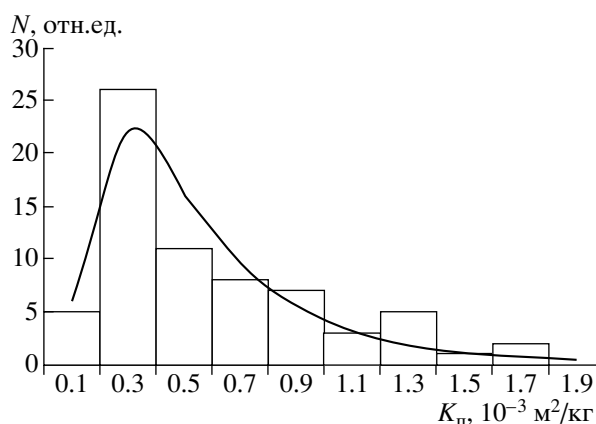


Рис. 5. Статистическое распределение $K_{\text{п}}^{137}\text{Cs}$ “почва-говядина” (кривая линия – теоретическое лог-нормальное распределение).

торинга с представительностью 5 животных на точку и эмпирические зависимости $K_{\text{п}}^{90}\text{Sr}$ и ^{137}Cs от суточного удоя молока.

Для обоих радионуклидов $K_{\text{п}}$ практически не зависит от суточного удоя молока и в диапазоне от 8 до 12 л/сут составляет в среднем 8.3×10^{-3} и 1.56×10^{-3} сут/л для ^{137}Cs и ^{90}Sr соответственно. Из рис. 3 также видно, что данные мониторинга для ^{90}Sr хорошо совпадают с экспериментальными данными, полученными в контролируемых условиях [3]. Для ^{137}Cs здесь приведены результаты работы [4], которые различаются по абсолютной величине, однако они также свидетельствуют практически о независимости $K_{\text{п}}^{137}\text{Cs}$ “рацион-молоко” от среднесуточного удоя и питательности рациона. Установленные нами значения $K_{\text{п}}^{90}\text{Sr}$ и ^{137}Cs хорошо согласуются с данными, полученными ранее, в “дочернобыльский” период исследований [5–8].

Проверка зависимости $K_{\text{п}}$ ^{90}Sr и ^{137}Cs “рацион-молоко” от времени года также показала, что, несмотря на изменения в течение года суточного удою молока (с наибольшими суточными удоями в летний (пастбищный) период, а наименьшими – в начале и конце года, после отела и перед отелом коров), величина $K_{\text{п}}$ остается практически постоянной (рис. 4).

К концу года $K_{\text{п}}$ ^{137}Cs немного увеличивается (приблизительно на 20%), а для $K_{\text{п}}$ ^{90}Sr такой закономерности не наблюдается.

Содержание радионуклидов в мягких тканях животного отражает длительное потребление загрязненного корма, в связи с чем анализ этого процесса можно провести только по коэффициентам пропорциональности между удельной активностью радионуклидов в мясе и почве, а не в цепочке корм–мясо. С помощью определенных допущений можно рассчитать и отношение удельной активности радионуклидов в мясе к их активности в суточном рационе. К таким допущениям относится длительное потребление корма с одинаковой удельной активностью радионуклидов в нем.

Нами были проанализированы статистические распределения $K_{\text{п}}$ ^{137}Cs в звене “почва–говядина”. Было найдено, что средний коэффициент пропорциональности между удельной активностью ^{137}Cs в говядине и средневзвешенной плотностью загрязнения территории хозяйств (объем выборки 429 животных) составляет 0.97 (Бк/кг)/(Бк/м²), медианное среднее 0.68 (Бк/кг)/(Бк/м²) с геометрическим стандартным отклонением 0.83. Было найдено, что статистическое распределение (по выборке из одной организации) соответствует логнормальному (рис. 5).

На основе допущения о длительном потреблении корма с одинаковой удельной активностью ^{137}Cs для выборки данных, которые были получены в течение пастбищного сезона и в предположении о ежесуточном потреблении животными 40 кг пастбищной травы, среднее значение $K_{\text{п}}$ ^{137}Cs в звене “рацион–мясо” составило 2.4×10^{-2} сут/кг, медиана – 1.35×10^{-2} сут/кг, геометрическое стандартное отклонение – 1.08. Полученные данные хорошо согласуются с результатами эксперимента на взрослых коровах словацко-пестрой и черно пестрой породы, где $K_{\text{п}}$ ^{137}Cs в говядину составил 2.08×10^{-2} сут/кг [9].

Проведенный анализ показал, что в настоящее время радиационная обстановка на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в ре-

зультате Чернобыльской катастрофы, характеризуется медленным спадом во времени содержания ^{137}Cs в продукции растениеводства и животноводства (практически в соответствии с физическим распадом ^{137}Cs).

Анализ собранной информации показал большую вариабельность $K_{\text{п}}$ радионуклидов из корма в молоко и мясо. Специфика создания базы данных по коэффициентам перехода из корма в молоко и мясо заключается в том, что в ней учтены разные закономерности поступления радионуклидов в эти пищевые продукты. Установленные $K_{\text{п}}$ радионуклидов могут быть использованы для расчета пределов поступления радионуклидов в отдельные составляющие рациона питания сельскохозяйственных животных, мясную и молочную продукцию, а также для прогноза содержания радионуклидов в продукции растениеводства и животноводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдинцева Е.В., Гулякин И.В. Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия. М.: Атомиздат, 1968. 472 с.
2. Спирин Е.В., Куринов А.Д. Контрольные уровни загрязнения сельскохозяйственных угодий ^{137}Cs на территории Калужской области // Почвоведение. 1995. № 9. С. 1089–1095.
3. Анненков Б.Н. Метаболизм стронция в организме сельскохозяйственных и лабораторных животных: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1969. 33 с.
4. Voigt G., Muller H., Prohl G., et al. Experimental determination of transfer coefficients of ^{137}Cs and ^{131}I from fodder into milk of cows and sheep after Chernobyl accident // Health Physics. 1989. V. 57. № 6. P. 967–973.
5. Ng Y.C. A Review of Transfer Factors for assessing the Dose from Radionuclides in Agricultural Products // Nuclear Safety. 1982. V. 23. № 1. P. 57–71.
6. Сельскохозяйственная радиоэкология / Под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. М.: Экология, 1992. 400 с.
7. Корнеев Н.А., Сироткин А.Н. Основы радиоэкологии сельскохозяйственных животных. М.: Энергоатомиздат, 1987. 208 с.
8. Радиобиология и радиоэкология сельскохозяйственных животных / Под ред. Б.Н. Анненкова, И.К. Дибобеса, Р.М. Алексахина. М.: Атомиздат, 1973. 220 с.
9. Мусатовова О., Ваврова М., Наварчик И. и др. Уточнение коэффициентов перехода для цезия и стронция // Isotopenpraxis. 1989. V. 25. № 11/12. P. 477–479.

Поступила в редакцию
06.09.2005 г.

The Transfer of ^{90}Sr and of ^{137}Cs in the Soil-fodder-animal Products Chain Within the Area Contaminated by the Chernobyl Accident

**E. V. Spirin, R. M. Alexakhin, M. V. Kalmykov, V. Yu. Ageyets, V. S. Averin,
N. M. Lazarev, G.-D. Cavellin, H. Biesold**

*Russian Institute of Agricultural Radiology and Agroecology, Obninsk, 249032 Russia;
e-mail: spirin@riar.obninsk.org*

The database on ^{137}Cs and or ^{90}Sr transfer factors in the soil-fodder-animal products chain compiled in the framework of the project “Radioecological Consequences of the Chernobyl Accident” under the French-German Initiative was analyzed. Cs-137 transfer factors were determined into 10 fodder types for farm animals. The ^{137}Cs and ^{90}Sr transfer from daily diet to 1 l of milk is practically independent from milk yield and season and is about 0.83% and 0.16% ^{137}Cs transfer factor into beef (adult animals) is about 2.4% from the daily uptake with fodder per 1 kg meat.