

## Динамика радиоактивного загрязнения пищевых продуктов природного происхождения после аварии на ЧАЭС

К.В. Шилова, М.В. Кадука, В.Н. Шутов

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

*Настоящая статья посвящена анализу динамики коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  в критические звенья природной пищевой цепочки в различные периоды времени после радиоактивных выпадений, что необходимо для оценки текущих доз внутреннего облучения населения, а также для реконструкции и долгосрочного прогноза этих доз.*

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, пищевые продукты природного происхождения,  $^{137}\text{Cs}$ , коэффициент перехода, период полужизни, дозы внутреннего облучения, Брянская область.

За годы, прошедшие после аварии на ЧАЭС накоплено значительное количество данных по радиоактивному загрязнению отдельных звеньев пищевой цепи. Полученная информация используется для оценки среднегодовой эффективной дозы внутреннего облучения по поступлению радионуклидов, в частности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , в организм человека с продуктами питания. Установлено, что в настоящее время вклад  $^{137}\text{Cs}$  в формирование дозы внутреннего облучения является ведущим, вклад  $^{90}\text{Sr}$  составляет доли процентов [1]. В качестве параметра, характеризующего миграцию радионуклидов из почвы в продукты, целесообразно использовать коэффициент перехода (КП), равный отношению удельной активности радионуклида в пищевом продукте (А) к поверхностной активности радионуклида на почве ( $\sigma$ ):

$$КП(10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}) = \frac{А(\text{Бк}/\text{кг})}{\sigma(\text{кБк}/\text{м}^2)} \quad (1)$$

Зная КП радионуклида из почвы в пищевой продукт и поверхностную активность радионуклида на почве, можно оценить ожидаемую радиоактивную загрязненность продукта в различные периоды времени после аварии.

$$А(\text{Бк}/\text{кг}) = КП(10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}) \cdot \sigma(\text{кБк}/\text{м}^2) \quad (2)$$

Значения КП радионуклидов из почвы в пищевые продукты существенно варьируют в зависимости от типа почв [1–3].

В качестве зоны исследования были выбраны юго-западные районы Брянской области, наиболее загрязненные после аварии на ЧАЭС -поверхностная активность  $^{137}\text{Cs}$  на почве указанной территории достигала 3700 кБк/м<sup>2</sup>. Исследуемые почвы относятся к группе дерново-подзолистых песчаных и супесчаных [4].

Отбор пищевых продуктов и их анализ на содержание  $^{137}\text{Cs}$  в сочетании с одновременным определением КП радионуклида из соответствующих почв в продукты позволил получить базы данных для реконструкции динамики указанных параметров в ранний период после аварии на ЧАЭС. Для долгосрочного прогноза динамики КП  $^{137}\text{Cs}$  в исследуемые пищевые продукты полученные базы данных были дополнены результатами анализа проб, отобранных в Ханты-Мансийском автономном округе

(ХМАО), где заведомо отсутствовали чернобыльские выпадения, а почвенные характеристики близки к почвенным характеристикам Брянской области.

Основными критическими звеньями природной пищевой цепи, являющимися носителями радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , являются продукты, напрямую потребляемые человеком и непосредственно дающие вклад в дозу его внутреннего облучения. К этим продуктам относятся:

- 1) грибы;
- 2) ягоды;
- 3) рыба (озёрная, речная);
- 4) дичь (кабан, лось, заяц, утка);
- 5) лекарственные травы.

В отличие от продуктов питания сельскохозяйственно-го производства (естественная дезактивация которых проходила достаточно быстро), статистически достоверного уменьшения радиоактивного загрязнения указанных продуктов природного происхождения за период, прошедший после аварии на ЧАЭС, обнаружено не было либо их очищение проходило очень медленно. В соответствии с этим к настоящему времени выявлено перераспределение вкладов различных составляющих пищевого рациона в дозу внутреннего облучения человека, пропорциональное произошедшему изменению величин КП радионуклидов в каждый из потребляемых продуктов.

В первые 2–3 года после аварии для некоторых видов продуктов природного происхождения, в первую очередь, для грибов, был отмечен рост удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ , связанный с активным проникновением радионуклида из верхнего слоя лесного опада в область грибного мицелия. По этой причине повышение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  особенно характерно для тех видов грибов, мицелий которых расположен в основном в зоне лесного опада. Из экспериментальных данных известна высокая аккумулятивная способность мицелия, он может удерживать до 40% попадающего в почву  $^{137}\text{Cs}$  и имеет большую, до 10–20 лет, продолжительность жизни [4]. Таким образом, мигрирующий в глубь почвенного профиля  $^{137}\text{Cs}$  задерживается и накапливается грибным мицелием в течение всей его жизни [3].

Значения величин удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах грибов и лесной растительности (ягоды, лекарственные травы) варьируют в широких пределах в зависимости от

поверхностной активности радионуклидов на почве, физико-химических свойств почвы, биологического вида и распределения корневой системы и грибного мицелия по почвенному профилю. Грибы и ягоды являются традиционной пищей населения России. При этом во многих районах, пострадавших от аварии на ЧАЭС, удельные активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах даров леса, которые человек использует в пищу, могут превышать допустимые уровни, определенные нормативными документами. В частности, в соответствии с СанПиН 2.3.4.1078-01, удельные активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах грибов и ягод не должны превышать 500 Бк/кг и 160 Бк/кг соответственно [6]. В начальный период после аварии на ЧАЭС удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в пробах некоторых видов грибов достигала значений порядка 0,5 МБк/кг сырого веса, в пробах некоторых видов ягод – 0,2 МБк/кг сырого веса. В настоящее время (в отдаленный период после аварии) указанные величины уменьшились до 0,3 МБк/кг для грибов и 0,1 МБк/кг для ягод.

Вклад грибов различных видов в формирование дозы внутреннего облучения населения  $^{137}\text{Cs}$  неодинаков и зависит как от КП  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в грибы, так и от доли соответствующих видов грибов в рационе питания.

По вкладу в формирование «грибной компоненты» дозы внутреннего облучения населения Брянской области  $^{137}\text{Cs}$  грибы можно расположить в следующем порядке:

- 1) маслята;
- 2) горькушки, свинушки;
- 3) лисички, сыроежки, подберезовики, белые.

Следует отметить, что вклад маслят определяется высоким уровнем их потребления при средних КП из почвы в грибы; вклад горькушек и свинушек – высокими КП при невысоком уровне потребления; вклад остальных указанных грибов – высоким уровнем потребления при невысоких КП [3].

Анализ динамики среднегодовых КП  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в наиболее употребляемые местным населением грибы, отобранные в Брянской области в разные годы после аварии на ЧАЭС, позволил определить периоды полуочищения грибов от  $^{137}\text{Cs}$  для начального периода:

- семейство болетовые (*Boletaceae*) – 8,3 лет;
- маслята (*Suillus*) – 14 лет;
- моховики (*Xerocomus*) – 1,6 года;
- сыроежки (*Russulaceae*),
- млечники (*Lactarius*) – 6 лет;
- рядовковые (*Tricholomataceae*) – 2,6 года.

В отдаленный период после аварии полуочищение всех видов грибов от  $^{137}\text{Cs}$  происходит гораздо медленнее – с периодом 30–50 лет, при этом значения КП  $^{137}\text{Cs}$  в грибы за время, прошедшее после аварии, не уменьшились, либо уменьшились незначительно. Так, для лисички желтой (*Cantharellus cibarius*) среднее значение КП  $^{137}\text{Cs}$  в начальный период после аварии составляло  $6,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ , период полуочищения для указанного времени был определен равным 1,7 года (рис. 1), в настоящее время среднее значение КП  $^{137}\text{Cs}$  составляет  $5,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ , период полуочищения равен 35 годам.

Для лесных ягод характерен несколько меньший уровень накопления по сравнению с грибами, хотя существуют определенные межвидовые отличия. Наибольшее значение КП  $^{137}\text{Cs}$  характерно для клюквы [7]. По этому показателю она примерно одинакова с грибами средне-накапливающей группы.

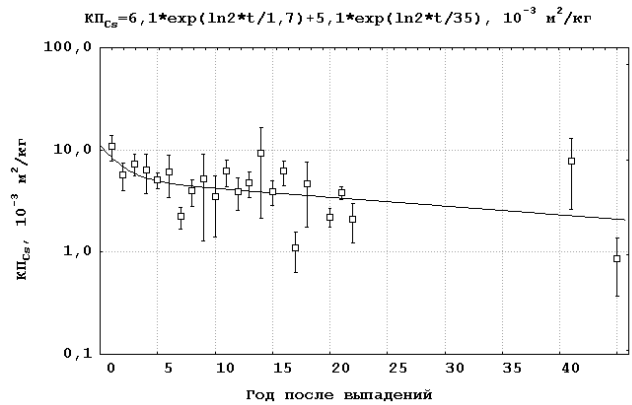


Рис. 1. Динамика коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  из дерново-подзолистых почв в грибы лисички (*Cantharellus cibarius*)

Сразу после клюквы по уровню содержания  $^{137}\text{Cs}$  идет брусника, затем черника, голубика, малина, земляника, рябина и наименьшая концентрация характерна для калины.

Анализ динамики среднегодовых КП  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в наиболее употребляемые местным населением лесные ягоды показал, что период полуочищения от  $^{137}\text{Cs}$  в начальный период после аварии составил:

- для клюквы – 6,7 лет,
- для брусники – 0,87 лет,
- для черники – 1,2 года,
- для малины – 2,5 лет,
- земляники – 8,8 года.

В отдаленный период после аварии период полуочищения лесных ягод от  $^{137}\text{Cs}$  составляет, как и для грибов, 30–50 лет. Для ягод брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) среднее значение КП  $^{137}\text{Cs}$  в начальный период после аварии составляло  $13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ , период полуочищения для указанного времени был определен равным 0,87 года (рис. 2), в настоящее время среднее значение КП  $^{137}\text{Cs}$  составляет  $5,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ , период полуочищения равен 30 годам. Для ягод черники (*Vaccinium myrtillus*) среднее значение  $\text{м}^2/\text{кг}$ , период полуочищения для указанного времени был определен равным 1,2 года (рис. 3), в настоящее время среднее значение КП  $^{137}\text{Cs}$  составляет  $5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ , период полуочищения равен 46 годам.

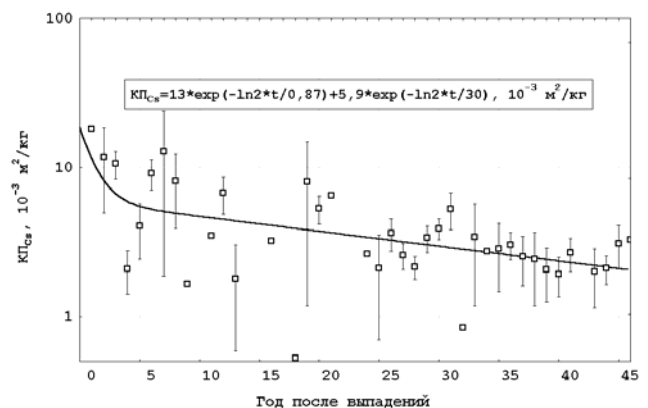


Рис. 2. Динамика коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  из дерново-подзолистых почв в ягоды брусники (*Vaccinium vitis-idaea*)

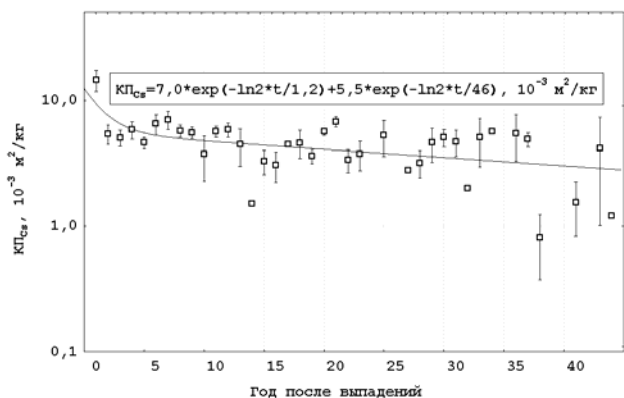


Рис. 3. Динамика коэффициентов перехода <sup>137</sup>Cs из дерново-подзолистых почв в ягоду черники (*Vaccinium myrtillus*)

Таким образом, для грибов и ягод, которые являются традиционными элементами рациона жителей России, характерно несущественное снижение КП <sup>137</sup>Cs в отдаленный период после аварии на ЧАЭС по сравнению с начальным.

Накопление <sup>137</sup>Cs пресноводными рыбами в природных условиях определяется их трофическими особенностями (хищники, травоядные), свойствами поедаемой ими пищи, трофностью водоёма, а также связанным с этим химическим составом воды, в частности, содержанием в ней макроэлемента – химического аналога (калия) [8, 9].

Динамика КП <sup>137</sup>Cs в озерную рыбу окунь (*Perca fluviatilis*) представлена на рисунке 4. Для озерной рыбы характерно существенное (практически в 4 раза) снижение КП в отдаленный период после аварии по сравнению с начальным периодом. Среднее значение КП <sup>137</sup>Cs в начальный период после аварии составляло  $10 \cdot 10^{-3}$  кБк/м<sup>2</sup>, период полуочищения для начального периода времени был определен равным 2,0 года, в настоящее время среднее значение КП <sup>137</sup>Cs составляет  $0,45 \cdot 10^{-3}$  кБк/м<sup>2</sup>, период полуочищения равен 77 годам.

Накопление <sup>137</sup>Cs в мышцах диких животными соответствует радиоактивному загрязнению территории их оби-

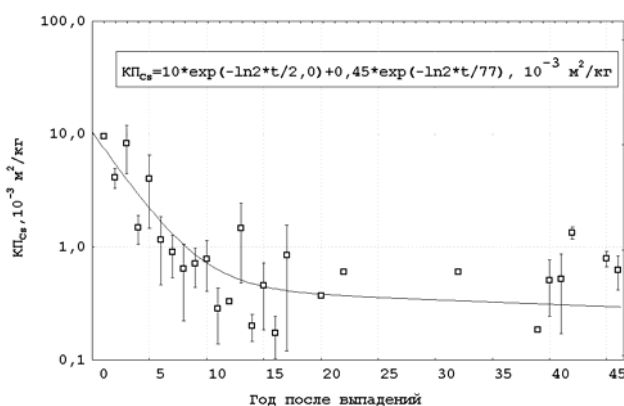


Рис. 4. Динамика коэффициентов перехода <sup>137</sup>Cs в озерную рыбу окунь (*Perca fluviatilis*)

тания и характеру питания. Для первых лет после аварии характерны наиболее высокие уровни содержания радионуклида у представителей различных видов фауны. В конце 1980-х гг. произошло их заметное снижение (в 5–10 раз). В настоящее время наблюдается тенденция к стабилизации содержания <sup>137</sup>Cs в организме животных. Оценка загрязнённости мяса диких животных из-за большого ареала их обитания и ряда других факторов имеет значительную неопределённость. Диапазон содержания <sup>137</sup>Cs в мясе диких животных на загрязнённых территориях составляет 2–700 000 Бк/кг.

Среди охотничье-промысловых видов млекопитающих наибольшая концентрация <sup>137</sup>Cs наблюдается у всеядных (кабан). Она во многом определяется климатическими особенностями текущего года и зависит от сезона. Максимальное содержание <sup>137</sup>Cs среди птиц, являющихся объектом охоты, отмечено у серых куропаток и уток.

На рисунке 5 представлена сравнительная динамика коэффициентов перехода <sup>137</sup>Cs из почвы в пищевые продукты природного происхождения и сельскохозяйственного производства.

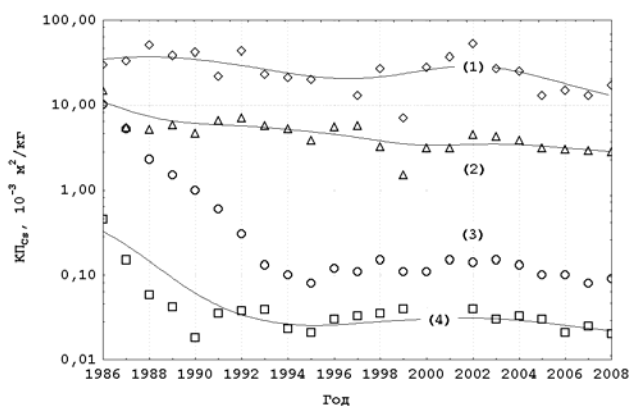


Рис. 5. Динамика коэффициентов перехода <sup>137</sup>Cs из дерново-подзолистых почв в лесные грибы (1), чернику (2), молоко (3) и картофель (4)

Очевидно, что, начиная с 1992–1994 гг. значения КП <sup>137</sup>Cs для пищевых продуктов природного происхождения стали на 1–2 порядка величины выше, чем для продуктов сельскохозяйственного производства. Вклад природных пищевых продуктов в дозу внутреннего облучения в настоящее время может достигать 70–80% [7]. В первую очередь, это обусловлено практически не изменяющимися или слабо меняющимися со временем уровнями содержания <sup>137</sup>Cs в основных дозобразующих продуктах природного происхождения – грибах, лесных ягодах, мясе диких животных, составляющих наиболее значимую часть природной компоненты пищевого рациона населения пострадавших регионов России [10]. Полученные данные свидетельствуют о необходимости осуществления радиационного контроля критических по радиоактивной загрязнённости пищевых продуктов природного происхождения. Лицам, активно потребляющим такие продукты, можно рекомендовать не употреблять в пищу грибы с потенциально высоким содержанием <sup>137</sup>Cs, особенно собранные на терри-

ториях с высокими значениями поверхностной активности радионуклида на почве, а также, по возможности, собирать грибы и ягоды, осуществлять отлов рыбы и дичи на относительно чистых территориях, проводить тщательную кулинарную обработку природных пищевых продуктов.

### Литература

1. Шутов В.Н. Оценка уровней поверхностного загрязнения территории цезием-137, при которых возможно превышение нормативов содержания радионуклидов в пищевых продуктах / В.Н. Шутов, Г.Я. Брук, А.Н. Барковский [и др.] // Здоровье населения и среда обитания: Информационный бюллетень. М: МЗРФ ФЦГСЭН, апрель 2004 г. Выпуск 4/133.
2. Shutov V.N. Cesium and strontium radionuclide migration in the agricultural ecosystem and estimation doses to the population / V.N. Shutov, G.Y. Bruk, M.I. Balonov [et al.] // The Chernobyl Papers. v.1. Research enterprises. Washington, 1993, P. 167–218.
3. Кадука М.В. Роль грибов в формировании дозы внутреннего облучения населения после аварии на Чернобыльской АЭС: Автореферат. дисс. канд. биол. наук. Обнинск, 2001. 23 с.
4. Kaduka M.V. Assessment of the contribution of fungi in the internal dose of populations in the areas with different soil types subjected to radioactive contamination after the Chernobyl accident / M.V. Kaduka, V.N. Shutov, G.J. Bruk [et al.] // Interim report from the field work performed in 1996-1999. St. Petersburg-Oslo, NRPА: Osteras, Norway, 2000. 61 p.
5. Guillitte O. Biological pathways of radionuclides originating from the Chernobyl fallout in a boreal forest ecosystem / O. Guillitte, J. Melin, L. Wallberg // The science of the total environment. ISSN 0048-9697, v. 157, 1994. P. 207.
6. Санитарные правила и нормы: "Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов" (СанПин 2.3.2.1078-01): утв. и введены в действие с 01.09.2002 г. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2002. 187 с.
7. Шутов В.Н. Динамика радиоактивного загрязнения пищевых продуктов сельскохозяйственного производства и природного происхождения после аварии на Чернобыльской АЭС / В.Н. Шутов, М.В. Кадука, Г.Я. Брук [и др.] // Радиационная гигиена, 2008. Т. 1, № 3. С. 36–40.
8. Куликов Н.В. Радиоэкология пресноводных биосистем / Н.В. Куликов, М.Я. Чеботина. Свердловск: АН СССР УО, 1988. С. 57–61.
9. Бакунов Н.А. К разграничению водоёмов по накоплению  $^{90}\text{Sr}$  рыбой / Н.А. Бакунов, В.М. Макеев // Экология, 2004. №4. С. 312–316.
10. К.В. Варфоломеева. Особенности формирования радиоактивного загрязнения лесной экосистемы после аварии на ЧАЭС // Радиационная гигиена, 2008. Т 1, №3. С. 49–54.

**K.V. Shilova, M.V. Kaduka, V.N. Shutov**

### **Dynamics of natural foodstuffs radioactive contamination after the Chernobyl accident**

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 present work is devoted to the analysis of  $^{137}\text{Cs}$  dynamics for the critical links of natural food chain during different periods after radioactive fallouts which is necessary for population internal exposure doses estimation as well as for doses reconstruction and prognosis.*

*Key words: radioactive contamination, natural foodstuffs,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , aggregative transfer factor, half-life, internal exposure doses, Bryansk region.*

Поступила 09.11.2009

К.В. Шилова  
Тел. (812) 233-42-83;  
E-mail: varfolomeeva\_K@mail.ru