

КИМАКОВСКАЯ Н.А. / KIMAKOVSKAIA N.A.¹**доктор биол. наук ПЕРЕПЕЛЯТНИКОВ Г.П. / dr hab. PEREPELIATNIKOV G.P.¹****Przyjęty/Принята/Accepted: 01.12.2013;****Zrecenzowany/Рецензирована/Reviewed: 14.02.2014;****Opublikowany/Опубликована/Published: 31.03.2014;**

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПА НОРМИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЦЕЗИЯ-137 В ПОЧВАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ^{2,3}

The Method of Normalization of Cesium-137 Content in Farmland Soils on the Basis of Radioecological Studies

Metoda określenia wartości normatywnej zawartości Cezu-137 w gruntach rolnych na podstawie badań radioekologicznych

Аннотация

Введение: Многолетний опыт ликвидации наиболее масштабных радиационных аварий, которые произошли на Земле, показывает, что первоочередным условием проведения ликвидационных работ для обеспечения радиационной безопасности населения является острая необходимость точного и оперативного прогнозирования уровней радиоактивного загрязнения пищевых продуктов, которые в основном формируют дозу облучения населения. Такое прогнозирование возможно лишь после определения допустимого загрязнения радионуклидами почв, которые бы обеспечивали непревышение гигиенических нормативов их содержания в сельскохозяйственной продукции и продуктах ее переработки.

Цель: Целью статьи было провести радиоэкологическое обоснование принципа нормирования ¹³⁷Cs в почвах Украины, которые подверглись радиоактивному загрязнению после аварии на Чернобыльской АЭС.

Методы: Исследование проводили на основных типах почв загрязненных областей Украины (дерново-подзолистых, торфяно-глеевых, черноземных). Использовали методы классических агрохимических и радиоэкологических полевых исследований. Использованы также аналитические методы исследований радиоэкологической ситуации в сельскохозяйственном производстве на радиоактивно-загрязненных угодьях, гамма-спектрометрические методы анализа отобранных образцов и методы математической статистики с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты: Проведен анализ факторов, влияющих на применение принципов нормирования содержания ¹³⁷Cs в почвах сельскохозяйственных угодий Украины. Показано, что разработка норматива допустимого содержания ¹³⁷Cs в почвах сельскохозяйственных угодий на продолжительную перспективу, возможна лишь после относительной стабилизации параметров миграции этого радионуклида в системе почва-растение, а это возможно через 15-20 лет после аварии. Исследованием установлено, что расхождение в значениях коэффициентов пропорциональности (КП) ¹³⁷Cs, в зависимости от типа почв, составляли до 40 раз, а от местоположения исследовательских участков не превышали двух раз. Накопление ¹³⁷Cs в урожае сельскохозяйственных культур, выращенных на торфяно-глеевых почвах было в 3,5-40 раз выше (по значениям КП), чем у культур, выращенных на черноземе оподзоленном, и в 1,4-13 раз выше, чем у культур, выращенных на дерново-подзолистых почвах.

Выводы: Основным принципом разработки норматива допустимого содержания ¹³⁷Cs в почвах в отдаленный период после Чернобыльской аварии является использование количественных параметров перехода этого радионуклида из почв разных типов в урожай основных сельскохозяйственных культур (КП), а также общепринятых методов прогнозирования поступления радионуклида из почвы в растительное и животное сельскохозяйственное сырье, в котором содержание ¹³⁷Cs не должно превышать государственные гигиенические нормативы (ДР-2006) его содержания в продуктах питания, произведенных из этого сырья.

¹ Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты ул. Рыбальская, 18, м. Киев, Украина, 01011; электронная почта: undicz@mns.gov.ua / Ukrainian Scientific and Research Institute of Civil Protection in Kiev, Ukraine; e-mail: undicz@mns.gov.ua

² Процентное соотношение участия в подготовке статьи: Кимаковская Н.А. - 70%, Перепелятников Г.П. - 30%; Percentage contribution: Kimakovskaia N.A. - 70%, Perepeliatnikov G.P. - 30%

³ Artykuł został wyróżniony przez Komitet Redakcyjny / The article was recognised by the Editorial Committee / Эту статью наградили Редакционный Совет

Ключевые слова: Чернобыльская авария, сельское хозяйство, почвы, радиоактивное загрязнение, ^{137}Cs , миграция, параметры, радиоэкологическое нормирование

Вид статьи: оригинальная научная статья

Abstract

Introduction: Years of experience in the liquidation of consequences of the large-scale nuclear accidents that have occurred on the Earth let us know that the primary condition for carrying out operations aimed at fighting consequences of such situations and ensuring radiation safety of the population is accurate and quick prediction of the levels of the radioactive contamination of foodstuffs, which constitute the main radiation dose to the population. Such prediction is possible only after determining permitted levels of soil contamination which would guarantee that the hygienic standards of agricultural products and processed products are preserved.

Purpose: The purpose of the article was to provide a radioecologically proven method for normalization of cesium-137 content in the soils of Ukraine contaminated in the Chernobyl nuclear power plant accident.

Methods: The study was conducted on the main types of soils from contaminated areas of Ukraine (sodic-podzolic, peat-gley, black soil). The authors applied classical agrochemical and radioecological methods used in the field studies. The authors used analytical research methods of radioecological situation in agricultural production on radioactively contaminated regions, gamma-spectrometric methods for the analysis of selected samples and the methods of mathematical statistics using the application package Microsoft Excel.

Results: The analysis of factors that affect the application of the method for determining numerical indicators of cesium-137 content in the soils of farmland Ukraine showed that the norm of acceptable content of cesium-137 in soils of agricultural land for the long term, is possible only after the relative stability of the parameters of the migration of radionuclides from soil to plants. Such stabilisation is possible in 15-20 years after the accident.

There was a 40 fold difference between the values of the cesium-137 coefficients of proportionality depending on the type of soil. Location of the test sites did not effect in the raise of the coefficient more than by 200%. The accumulation of cesium-137 in the yield of crops grown on peat-gley soils was 3,5-40 times higher (the values of TF-coefficient of proportionality) than in cultures grown on ashed, and 1,4-13 times higher than in cultures grown on sodic - podzolic soils.

Conclusions: The basic method of determining permissible ratio of cesium-137 content in soil in the remote period after the Chernobyl accident is the quantitative parameters of the transfer of radionuclides from soil to different types of major crops (TF), and the conventional methods of the forecasting of radionuclides from soil to plant and animal agricultural input in which the content of cesium-137 will not exceed state sanitary standards (permissible level-2006, PL-2006) for foods produced from this raw.

Keywords: the Chernobyl accident, agriculture, soils, radioactivity, contamination, cesium-137, migration, parameters, radiological normalization

Type of article: original scientific article

Abstrakt

Cel: Lata doświadczeń w usuwaniu skutków awarii jądrowych, które miały miejsce na Ziemi utwierdzają w przekonaniu, iż podstawowym warunkiem likwidacji powstałych szkód, które ma na celu zapewnienie społeczeństwu bezpieczeństwa radiacyjnego, jest dokładne i szybkie przewidywanie poziomu skażenia żywności, która stanowi główną dawkę napromieniowania ludności. Takie prognozy są możliwe do zrealizowania tylko po określeniu dopuszczalnego skażenia gleby, przy którym utrzymane byłyby normy higieniczne produktów rolnych i przetworzonych. Celem artykułu było ustalenie metody określania norm zawartości cezu-137 w glebach Ukrainy, skażonych wskutek awarii elektrowni atomowej w Czarnobylu na podstawie badania radioekologicznego.

Metody: Badanie zostało przeprowadzone na głównych rodzajach gleb z zanieczyszczonych obszarów Ukrainy (sodowo-bielicowe, torfowo-glejowe, czarnoziemy). Wykorzystano klasyczne metody stosowane w badaniach agrochemicznych i radioekologicznych. Zastosowano również badanie analityczne sytuacji radioekologicznej w produkcji rolniczej na skażonych radioaktywnie ziemiach, analizę spektrometrii gamma wybranych próbek oraz metody statystyki matematycznej z wykorzystaniem pakietu Microsoft Excel.

Wyniki: Analiza czynników wpływających na badaną metodę standaryzacji zawartości cezu-137 w glebach gruntów rolnych na Ukrainie pokazała, że wyznaczanie na dłuższą perspektywę norm dopuszczalnej zawartości cezu-137 w glebach użytku rolnego możliwe jest jedynie po względnej stabilizacji parametrów migracji radionuklidów w systemie gleba-roślina, która to dokonuje się w 15-20 lat po awarii. Badania wykazały, że różnica w wartościach współczynników proporcjonalności cezu-137, w zależności od rodzaju gleby była 40-krotna. Wahanie współczynnika zawartości cezu wynikające z pierwotnej lokalizacji badanych próbek nie przewyższały 200%. Nagromadzenie cezu-137 w uprawach gleb torfowo-glejowych było o 3,5-40 razy wyższe (wg wartość KP – współczynnika proporcjonalności) niż w uprawach na czarnoziemach i 1,4-13 razy wyższe niż w uprawach, które wyrosły na glebach sodowo-bielicowych.

Wnioski: Podstawową metodą ustalenia dopuszczalnej normy zawartości cezu-137 w glebie (w długim odstępie czasu od awarii w Czarnobylu), przy której jego zawartość nie będzie przekraczać ustawowych norm sanitarnych (dopuszczalny poziom – 2006, PL-2006) dla przetwarzanych produktów żywnościowych, jest wykorzystanie parametrów ilościowych transferu radionuklidów z gleby do zbiorów różnego rodzaju upraw (współczynnik proporcjonalności) i tradycyjnych metod prognozowania transferu radionuklidów z gleby do roślin i zwierząt.

Słowa kluczowe: awaria elektrowni atomowej w Czarnobylu, rolnictwo, gleby, skażenie radioaktywne, migracja, Cez-137, parametry

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

1. Введение

Масштабное внедрение человечеством ядерной энергетики положило начало радиационным авариям, во время которых происходит радиоактивное загрязнение окружающей среды и, как следствие этого, дополнительное облучение людей. Из большого количества разнообразных радиационных аварий, которые произошли на Земле, наиболее масштабными были аварии на Южном Урале на ВО «Маяк» (г. Киштим, Россия), на Чернобыльской АЭС (Украина) и на Фукусиме-1 (Япония) [1-4]. Одной из важнейших составляющих образования дозы облучения сельского населения, которое жило на загрязненных после этих аварий территориях, была внутренняя доза, сформированная за счет потребления местных продуктов питания [5].

Многолетний опыт ликвидации таких аварий показывает, что первоочередным условием проведения ликвидационных работ для обеспечения радиационной безопасности населения является острая необходимость точного и оперативного прогнозирования уровней загрязнения пищевых продуктов, которые, в основном, формируют дозу облучения населения [4,5]. Однако, при превышении порога консервативности таких прогнозов существенно возрастают материальные и финансовые затраты, направляемые на уменьшение дозы облучения населения, а при занижении – снижается эффективность защитных мероприятий и увеличивается доза его облучения. Иначе говоря, в соответствии с Публикациями МКРЗ (ICRP) № 37 и 63 каждое вмешательство при применении мероприятий радиационной защиты не должно изменять основные принципы: оправданности и оптимизации [6,7].

Сельское хозяйство Украины является сферой, которая наиболее пострадала от Чернобыльской катастрофы [2,5]. Через пять – десять лет после аварии основной вклад в радиоактивное загрязнение сельскохозяйственной продукции и, соответственно, в дозу формирования населения, определял ^{137}Cs [2]. Несмотря на значительный объем радиологических исследований, проведенных в аграрных биогеоценозах на протяжении послеаварийного периода, остается ряд вопросов, решение которых является необходимым для планирования работ по реабилитации загрязненных территорий и ведения сельского хозяйства в отдаленный период после Чернобыльской аварии [8].

В первую очередь, для принятия оптимальных решений по управлению сельскохозяйственным производством на загрязненных территориях в отдаленный послеаварийный период, необходимо иметь следующую научную информацию. Уточненные количественные параметры миграции ^{137}Cs из основных типов загрязненных почв Украины в урожай наиболее распространенных сельскохозяйственных культур. Прогноз радиоактивного загрязнения этим радионуклидом получаемой сельскохозяйственной продукции. Разработанные нормативы допустимого загрязнения этим радионуклидом основных типов почв Украины, которые бы обеспечивали как непревышение гигиенических нормативов его содержания в сель-

скохозяйственной продукции и продуктах ее переработки, так и минимизацию дозы облучения сельского населения.

2. Методика исследования

На протяжении 2008-2010 годов нами в производственных условиях были проведены мониторинговые исследования на сельскохозяйственных угодьях наиболее радиоактивно загрязненных областей Украины. Исследования проводили на основных типах почв (дерново-подзолистых, торфяно-глеевых, черноземных) на естественных лугах и в условиях полевых севооборотов на посевах основных сельскохозяйственных культур. Изучали миграцию ^{137}Cs в системе почва-растение методами классических агрохимических и радиологических исследований. Для этого в период уборки урожая отбирали сопряженные образцы почвы и растений, в которых методом гамма-спектрометрии определяли удельную активность ^{137}Cs . Статистический анализ результатов исследований проводили методами математической статистики с использованием пакета прикладных программ *Microsoft Excel* [9] и расчетными математическими методами. Параметры миграции ^{137}Cs из почвы в растения рассчитывали по величине коэффициента пропорциональности (КП) – отношению удельной активности ^{137}Cs в воздушно-сухой массе урожая растений (Бк/кг) к плотности загрязнения почвы (кБк/м²).

3. Результаты и их обсуждение

Научный опыт накопленный в радиологической области позволяет сделать такой вывод: основным фактором, который лимитирует допустимое радиоактивное загрязнение почвы, в достаточно широком диапазоне значений, является количественный переход радионуклидов из почвы в урожай растений [10-12]. При этом именно свойства почвы, в основном, влияют на трансформирование в нем форм содержания радионуклидов [13], что и определяет величину загрязнения урожая. В этой связи, величина загрязнения радионуклидами урожая сельскохозяйственных культур, выращиваемых на загрязненных почвах, будет основным критерием определения их допустимого содержания в почве.

После Чернобыльской катастрофы долгосрочная динамика миграции ^{137}Cs из почвы в растения характеризуется двумя периодами: в первые 5 лет после загрязнения почв сельскохозяйственных угодий происходило быстрое снижение значений величины КП (до 10 раз, в зависимости от типа почвы), последующий период характеризовался медленным снижением КП (до 2-х раз за следующие 5-15 лет, в зависимости от типа почвы) [14,15]. Только после относительной стабилизации параметров биологической миграции ^{137}Cs , а это через 15-20 лет, возможно корректное прогнозирование загрязнения им урожая сельскохозяйственных культур на долгосрочную перспективу. Поэтому в отдаленный период, период стабилизации доступных форм ^{137}Cs в почве, можно, за счет введения допустимых концентраций этого

радионуклида в разных типах почв, гарантировано получать на них сельскохозяйственную продукцию, в которой не будут превышены допустимые уровни содержания ^{137}Cs , установленные действующими в Украине гигиеничными нормативами (ДР-2006) [16].

Таким образом, в отдаленный после Чернобыльской аварии период, корректное прогнозирование на долгосрочную перспективу уровней загрязнения сельскохозяйственной продукции ^{137}Cs возможно лишь при условиях экспериментального получения количественных параметров перехода этого радионуклида из почв разных типов в урожай основных культур.

Именно в применении таких параметров, а также общепринятых методов прогноза поступления радионуклида из почвы в растительное и животное сельскохозяйственное сырье, содержание ^{137}Cs в котором обеспечит не превышение государственных гигиенических нормативов его содержания в продуктах питания, произведенных из этого сырья, и будет заключаться основной принцип разработки норматива допустимого содержания этого радионуклида в почвах.

В наших исследованиях в производственных условиях получены средне-многолетние значения КП ^{137}Cs для урожая наиболее распространенных видов сельскохозяйственных культур выращенных на основных типах почв загрязненных регионов Украины в отдаленный послеаварийный период. Исследования показали, что поступление ^{137}Cs в урожай сельскохозяйственных культур наибольшей мерой зависит от типов почв и меньшей мерой – от территориального распределения. Расхождения в значениях КП ^{137}Cs , в за-

висимости от типов почв, варьировали до 40 раз, а от местоположения исследовательских участков не превышали двух раз.

Установлено, что накопление ^{137}Cs в урожае сельскохозяйственных культур, выращенных на торфяно-глеевых почвах, было в 3,5-40 раз выше (по значениям КП), чем у культур, выращенных на черноземе оподзоленном, и в 1,4-13 раз выше, чем у культур, выращенных на дерново-подзолистых почвах (табл. 1).

В зоне радиоактивного загрязнения Украины, где широко развито животноводство, естественные луга играют огромную роль в обеспечении крупного рогатого скота грубыми кормами. Именно естественные луга являются критическими угодьями при производстве на них кормов. Поэтому для этих угодий очень важным является использование научно-обоснованных методов выращивания кормов. В первую очередь это касается прогнозирования радиоактивного загрязнения производимых кормов, скармливание которых позволит получать молоко и мясо соответствующее действующим в государстве гигиеническим нормативам допустимого содержания в этих продуктах ^{137}Cs .

Основными факторами, по которым различают типы лугов, являются водный режим луга и тип почвы, совместное влияние которых и обуславливает растительный покров лугов и различия в накоплении ^{137}Cs в травостое. В отдаленный послеаварийный период, как и в первые годы после аварии, критическими лугами были переувлажненные луга, расположенные на органогенных почвах.

Таблица 1.

Средние значения величин *КП ^{137}Cs для урожая наиболее распространенных видов сельскохозяйственных культур, выращенных в производственных условиях на основных типах почв загрязненных областей Украины (2008-2010 гг., n=72)

Table 1.

Average values of ^{137}Cs Proportionality Constant for the most common types of crops grown in basic types of soils in contaminated regions of Ukraine (2008-2010 гг., n=72)

Культура, часть или орган / Crops, part of a plant or its organ	Средние значения КП ^{137}Cs для разных типов почв Average values of ^{137}Cs proportionality constant for different soil types			
	Дерново-подзолистая sod-podzolic		Чернозем оподзоленный Podzolic chernozem	Торфяно- глеевая осушенная Drained peat-gley
	Песчаная Sandy	Супесчаная Sandy loam		
Травостой злаковых трав сеяного пастбища, сено / Sown pasture grass, hay	-	0,24±0,053	0,12±0,026	2,84±0,42
Люпин, зеленая масса / Lupine, green part	0,15±0,034	0,097±0,021	0,059±0,014	0,18±0,056
Свекла кормовая, корнеплоды / Fodder beet, root crop	0,12±0,025	0,08±0,018	0,070±0,015	0,29±0,094
Картофель, клубни / Potato, tubers	0,053±0,018	0,036±0,008	0,015±0,0032	0,283±0,084
Клевер, зеленая масса / Clover, green part	0,081±0,017	0,045±0,01	0,029±0,0067	-
Овес, зерно / Oats, grain	0,081±0,017	0,046±0,01	0,027±0,0057	-
Рожь, зерно / Rye, grain	0,062±0,013	0,036±0,008	0,030±0,006	-
Кукуруза, зеленая масса / Corn, green part	0,033±0,078	0,045±0,011	0,016±0,0036	-
Капуста, кочаны / Cole, head	0,106±0,023	0,076±0,017	0,015±0,035	-

*(Бк/кг)/(кБк/м²)

*(Bq/kg)/kBq/m²)

В наших исследованиях установлено, что для естественных лугов разных типов различия в поступлении ^{137}Cs в урожай сена были еще большими, чем в полевом севообороте. Наименьшим накоплением этого радионуклида в травостое лугов отличались суходольные луга с минеральными почвами, а наибольшим – болотистые и пойменные с органомными почвами, при этом КП варьировали от 0,12 до 90,9 (табл. 2). Внутри одного типа луга различия в накоплении ^{137}Cs в травостое, которые обуславливались типом почвы, не превышали 8-ми раз.

Таким образом, количественные параметры (КП), которые были получены нами для основных типов почв и видов сельскохозяйственных культур, могут быть использованы для проведения прогнозирования загрязнения сельскохозяйственной продукции. Самое прогнозирование загрязнения продукции является основой в подходах касающихся разработки норматива содержания ^{137}Cs в почвах для отдаленного периода

после Чернобыльской аварии. Для этого используют общепринятые закономерности, которые описываются известной формулой:

$$КП = \frac{A_y}{S_z} \quad (1)$$

Где: КП - коэффициент пропорциональности (Бк/кг)/(кБк/м²);

A_y - удельная активность ^{137}Cs в урожае растений, Бк/кг;
 S_z - плотность загрязнения почвы ^{137}Cs , кБк/м².

Из формулы 1 можно определить плотность загрязнения почвы ^{137}Cs , S_z :

$$S_z = \frac{A_y}{КП} \quad (2)$$

Подставив в формулу 2 вместо A_y значения государственных гигиенических нормативов содержания

Таблица 2.

Влияние основных характеристик природных лугов различных типов на величину *КП ^{137}Cs для урожая сена (средние данные за 2008-2010 гг., $\sigma \leq \pm 30\%$, n=72)

Тип луга	Тип почвы	Растительный покров	КП
Суходол нормальный	чернозем оподзоленный	разнотравно-злаковый	0,12
Суходол нормальный	Луговая	разнотравно-злаковый	0,33
Суходол избыточно увлажненный	дерново-подзолистая песчаная	разнотравно-злаковый	0,66
Пойменный влажный	дерновая глееватая	разнотравно-злаковый	1,80
Пойменный влажный	дерновая оглеенная	разнотравно-злаковый	1,79
Суходол избыточно увлажненный	дерновая супесчаная	злаково-разнотравный	1,83
Суходол избыточно увлажненный	дерновая песчаная	разнотравно-злаковый	1,80
Пойменный влажный	торфяно-глеевая	злаково-разнотравный	12,2
Пойменный влажный	торфяно-глеевая	разнотравно-злаково-осоковый	15,1
Долгопойменный заливной	торфяно-глеевая	разнотравно-осоковый	29,8
Низинный болотистый	торфяно-глеевая	осоковый	90,9

*(Бк/кг)/(кБк/м²)

*(Bq/kg)/kBq/m²)

Table 2.

Influence of the main characteristics of different types of natural grassland on the value of *TF ^{137}Cs for hay harvest (average data for 2008-2010 $\sigma \leq \pm 30\%$, n=72)

Type meadows	Soil type	Vegetational cover	TF
Normal dry valleys	podzolic chernozem	forb-grass	0,12
Normal dry valleys	meadowy	forb-grass	0,33
Dry valleys excessively wet	sod-podzolic sandy	forb-grass	0,66
Floodplain wet	sod gleyey	forb-grass	1,80
Floodplain wet	sod gley	forb-grass	1,79
Dry valleys excessively wet	sod sandy loam	grass-forb	1,83
Dry valleys excessively wet	sod sandy	forb-grass	1,80
Floodplain wet	drained peat-gley	grass-forb	12,2
Floodplain wet	drained peat-gley	forb-grass-sedge	15,1
Long-floodplain aspic	drained peat-gley	herb-sedge	29,8
Lowland wetlands	drained peat-gley	sedge	90,9

*(Бк/кг)/(кБк/м²)

*(Bq/kg)/kBq/m²)

^{137}Cs в продуктах питания (ДР-2006 для зерна, овощей и картофеля), а вместо КП, полученные в наших исследованиях величины для различных типов почв, можно определить допустимую плотность загрязнения избранной почвы этим радионуклидом.

4. Выводы

1. Сельское хозяйство Украины является наиболее пострадавшей сферой от Чернобыльской катастрофы. Через пять – десять лет после аварии основной вклад в радиоактивное загрязнение сельскохозяйственной продукции и, соответственно, в дозу формирования населения, определял ^{137}Cs .
2. Основным фактором, который лимитирует допустимое загрязнение почв ^{137}Cs в достаточно широком диапазоне значений, является переход радионуклида из почвы в урожай растений. Поэтому степень загрязнения ^{137}Cs урожая сельскохозяйственных культур, выращиваемых на загрязненных почвах, будет основным критерием определения допустимого содержания радионуклидов в почве.
3. Основным принципом разработки норматива допустимого содержания ^{137}Cs в почвах, для отдаленного периода после Чернобыльской аварии, является использование количественных параметров перехода (КП) этого радионуклида из почв различных типов в урожай основных культур, а также общепринятых методов прогнозирования поступления радионуклида из почвы в растительное и животное сельскохозяйственное сырье, переработка которого позволит получать продукты питания, содержание ^{137}Cs в которых не превысит допустимые значения государственных гигиенических нормативов (ДР-2006).

Литература

1. Aleksakhin R.M., Buldakov L.A., Gubanov V.A. i dr. Pod obshchei [red.] L.A. Ilina i V.A. Gubanova, *Radiatsionnye avarii*, M. IzdAT, 2001M 752 s.
2. 20 let Chernobylskoi katastrofy. Vigliad v budushche. *Natsionalnyi doklad Ukrainy* – K. Atika, 2006 – 224 s.
3. http://ru.wikipedia.org/wiki/Авария_на_АЭС_Фукусима-1.
4. Aleksakhin R.M., Prister B.S., *Radioekologia kak otrasl iestestvovaniia razmyshleniia ob. Interesnom proshlom, slozhnom i vazhnom nasytotashchem i neopredelennom budushchem*. *Radiatsionnaia biologiiia. Radioekologiiia* 2008.- t. 48.- № 6. - s. 645-653.
5. Prister B.S. *Chernobylskaia katastrofa effektivnost mer zashchity naseleniia, opyt mezhdunarodnogo sotrudnichestva* [B.S. Prister, R.M. Aleksakhin, V.G. Bebesko i dr.], pod

- red. B.S. Pristera – K. Energetika i elektrifikatsiia, 2007.– 100 s.
6. Optimizatsiia radiatsionnoi zashchity na osnove analiza sotnosheniia zatraty vygoda / Publikatsiia 37 MKR3. – M. Energoatomizdat, 1985. – 47 s.
7. Principles for intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency/ ICRP Publication 63/- New York: Pergamon Press.- 1991.- 62 p.
8. Prister B.S., Aleksakhin R.M., *Radioekologiiia i ee rol v reshenii problem radiatsionnoi bezopasnosti. Radioekologiiia itogi, sovremennoe sostoianie i perspektivy: Mezhdunar. Konf. – Moskva, 3-5 iunია 2008 goda: sb. Materialov, pod red. R.M. Aleksakhina – Obninsk: Fabrika ofsetnoj pechati, 2008 s 13-22.*
9. Afifi A. *Statisticheskii analiz. Podkhod s ispolzovaniem EVM*, Afifi A. – M.: Mir, 1992 – 488 s.
10. Klechkovskii V.M. *O provedenii radioaktivnykh produktov deleniia v pochvakh, ikh postuplenii v rasteniia i nakoplenii v urozhae* - M.: Izd-vo AN SSSR, 1956. – 313 s.
11. *Sovremennye problemy radiobiologii. T. 2. Radioekologiiia*, pod red. V.M. Klechkovskogo, G.G. Poliakarpova i R.M. Aleksakhina – M. Atomizdat, 1971 -422 s.
12. Annenkov B.N., Iudintseva E.V., *Osnovy sel'skokhoziaistvennoi radiologii*. M. Agropromizdat, 1991 - 286 s.
13. Prister B.S., Vinogradskaia V.D., *Kineticheskaia model povedeniia ^{137}Cs i ^{90}Sr v sisteme „pochva-rastenie” dlia prognozirovaniia zagriazneniia radionuklidami sel'skokhoziaistvennoi produktsii // Dvadtsiat piat rokiv Chornobylskoi katastrofi. Bezpeka maibutnogo mizhnar. Konf. Kiiv, 20-22 kvirnია 2011 r.:zb.vo „KIM”, 2011 – S. 252-256.*
14. Fesenko S.V., Sanzharova N.I., Aleksakhin R.M., *Spiipridonov S.I., Izmnenie biologicheskoi dostupnosti ^{137}Cs posle avarii na Chernobylskoi AES. Pochvovedenie.- 1995.- № 4.- S. 508-513.*
15. Perepeliatnikov G.P. *Radioekologicheskoe obosnovanie ratsionalnogo vedeniia rastenievodstva pri zagriaznenii territorii radioaktivnymi vybrosami posle iadernykh i radiatsionnykh insidentov*. dis: ... dokt. biol. nauk. spec. 03.00.01 *Radioekologiiia / Perepeliatnikov Georgii Petrovich.- K., 2013.- 417 s.*
16. *Dopustimi rivni vmistu radionuklidiv ^{137}Cs ta ^{90}Sr u produktakh kharchuvannia ta pitnii vodi (DR-2006), Derzhavni giigienichni normativi – K.: Ministerstvo okhoroni zdorov'ia Ukraini, 2006 - 20s.*

Перепелятников Георгий Петрович - доктор биологических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела радиационной и химической защиты Украинского научно-исследовательского института гражданской защиты.

Кимаковская Нина Александривна - старший научный сотрудник отдела инженерно-технических мер гражданской защиты Украинского научно-исследовательского института гражданской защиты.