

## Анализ динамики коэффициента перехода цезия-137 в грибы после аварии на ЧАЭС как основы для построения прогнозной модели

К.В. Шилова

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург

*В представленной статье показан анализ имеющегося массива данных по уровням содержания и коэффициентам перехода (КП)  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в грибы разных видов, произрастающих на загрязненных территориях Брянской области, который используется для уточнения параметров прогностической модели оценки ожидаемых уровней и ожидаемых значений КП, а также разработки плана дальнейшего исследования.*

**Ключевые слова:** Брянская область, радиоактивное загрязнение, пищевые продукты лесного происхождения,  $^{137}\text{Cs}$ , коэффициент перехода (КП), период полураспада, дозы внутреннего облучения, ГИС-технологии.

### Введение

Несмотря на то, что с момента аварии на Чернобыльской АЭС прошло почти 28 лет, снижение уровней поверхностного загрязнения почвы, особенно в лесной зоне, идет очень медленно. На сегодняшний день общая площадь загрязненной территории Брянской области свыше 1 Ки/км<sup>2</sup> (37 кБк/м<sup>2</sup>) составляет 6682 км<sup>2</sup> [1]. В связи с высоким уровнем остаточного радиоактивного загрязнения значительных территорий России после аварии на ЧАЭС долгосрочный прогноз радиоактивного загрязнения лесных пищевых продуктов, вносящих вклад в дозу внутреннего облучения населения, проживающего на этих территориях, является актуальной задачей. В лесных экосистемах абсолютными концентраторами  $^{137}\text{Cs}$  и одним из основных дозообразующих компонентов в трофической цепи являются грибы [2–4] (особенно для критических групп населения, таких как жители загрязненных территорий, работники лесного хозяйства, охотники и члены их семей).

В настоящее время основной вклад в дозу (до 80%) стали давать лесные пищевые продукты, главным образом, грибы, являющиеся традиционным продуктом потребления сельских жителей загрязненных районов [5–8].

Для долгосрочного прогноза поведения радионуклидов лесных экосистем необходимо иметь надежную математическую модель динамики коэффициентов перехода (КП) в зависимости от времени и других факторов, от которых могут зависеть КП. Основными параметрами, влияющими на КП из почвы в грибы, являются:

- плотность поверхностного загрязнения почвы;
- физико-химические свойства почвы (содержание обменного калия, физической глины, рН, концентрация обменного калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ), концентрация органического вещества (С), сумма обменных оснований (S), емкость катионного обмена (ЕКО), содержание физической глины (глина) и увлажненности почвы);

- видовая специфичность грибов [9, 10].

Поскольку грибы в значительной степени определяют дозу внутреннего облучения человека и служат индикатора-

ми биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$ , требуется уточнение параметров, характеризующих темп изменения аккумуляции  $^{137}\text{Cs}$  в зависимости от времени, прошедшего с момента аварии на ЧАЭС. Такая модель поможет предсказать ожидаемые средние уровни загрязнения грибов, диапазон наиболее вероятных значений для отдельных видов грибов, выделить территории, на которых уровни загрязнения грибов будут находиться в пределах установленных нормативов, дать более точную оценку вклада грибов в индивидуальные и коллективные дозы облучения.

**Цель исследования** – анализ имеющегося массива данных для уточнения параметров прогностической модели оценки ожидаемых уровней содержания  $^{137}\text{Cs}$  в грибах разных видов и ожидаемых значений КП, а также разработки плана дальнейшего исследования.

В соответствии с целью исследования решались следующие задачи:

1. Провести статистический анализ имеющегося массива данных, выявить общие закономерности и сгруппировать данные для формирования схемы планируемого исследования.
2. Разработать картографическую основу для пространственного анализа данных.
3. Разработать план экспедиционного исследования по верификации прогнозной модели и уточнению ее параметров.

### Материалы и методы

Объектом исследования являются уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в грибах, собираемых на территориях Брянской области с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения после аварии на ЧАЭС, закономерности накопления радионуклида и изменение уровней накопления со временем.

Основной массив данных, положенных в основу данной работы, – это данные, полученные в Институте радиационной гигиены за период с 1987 по 2007 г., любезно предо-

ставленные автору лабораторией радиохимии, а также собственные данные, полученные в 2008 и 2009 гг. [11, 12].

В качестве основного района исследования были выбраны юго-западные районы Брянской области, наиболее подвергшиеся загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г.

Статистическая обработка (оценка средних значений по выборкам, стандартных отклонений) и графическое представление динамических зависимостей, частотных распределений осуществлялась средствами MS Excel, а в некоторых случаях с использованием пакета Matlab 2008b.

Картографическое представление данных осуществлялось с помощью картографического пакета MapInfo 7.0, посредством которого были построены отдельные слои карты:

- границы административных образований;
- местоположение населенных пунктов;
- особенности ландшафта;
- типы почв;
- уровни радиоактивного загрязнения почвы;
- изолинии ожидаемых уровней содержания  $^{137}\text{Cs}$  в грибах.

Последующее совмещение отдельных слоев карты позволило оценить возможное влияние на результаты исследований отдельных факторов, таких как тип почвы, уровень радиоактивного загрязнения, удаленность от населенного пункта (НП) лесных массивов и др.

Построение изолиний уровней возможного содержания  $^{137}\text{Cs}$  в грибах производилось средствами Matlab 2008b по специально разработанной в лаборатории экологии НИИРГ компьютерной программе.

### Результаты и обсуждение

Уровень радиоактивного загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$  является основным показателем, от которого зависит содержание радионуклида в растительности, в сель-

скохозяйственных пищевых продуктах, и, разумеется, в грибах. Данные о плотности радиоактивного загрязнения почвы в пострадавших от аварии регионах России ежегодно передаются в Институт радиационной гигиены Росгидрометом.

На рисунке 1 представлены карты-схемы радиоактивного загрязнения Брянской области в различные периоды времени [13].

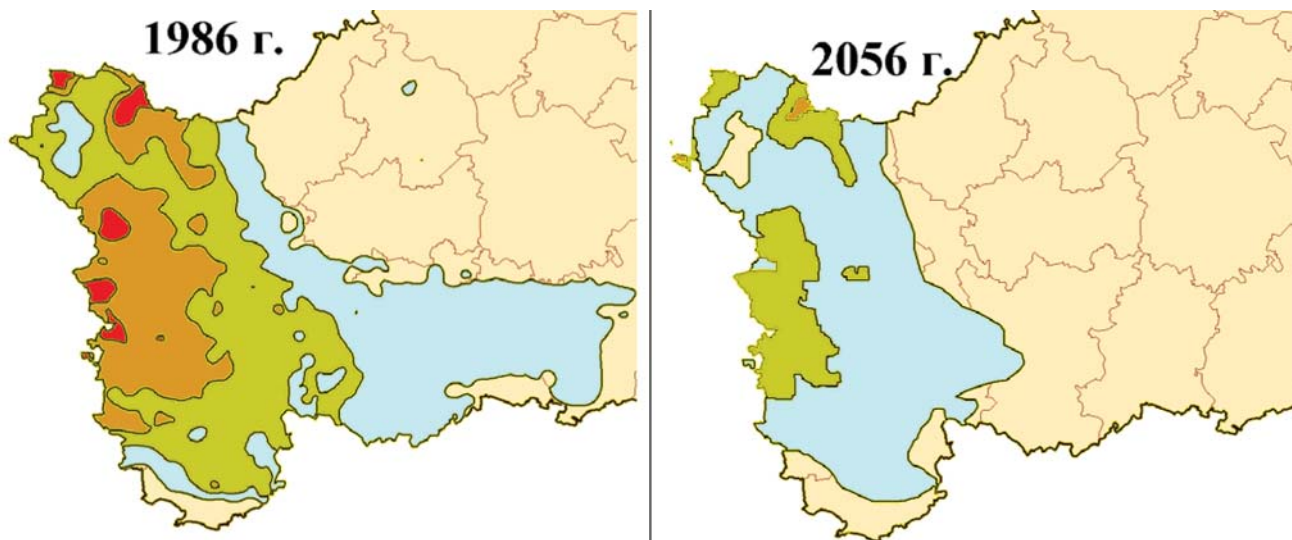
На рисунке 2 выделены области радиоактивного загрязнения, построенные по данным Росгидромета на 2014 г. в границах административной карты Брянской области<sup>1</sup>.

Средствами MapInfo были рассчитаны площади радиоактивного загрязнения в выделенных на карте диапазонах плотности радиоактивного загрязнения. Результаты расчета на 2014 г. показали, что общая площадь территории Брянской области, загрязненной свыше 1 Ки/км<sup>2</sup>, составляет 6682 км<sup>2</sup>. Несмотря на то, что с момента аварии на Чернобыльской АЭС практически прошел один период полураспада ( $^{137}\text{Cs}$  – 30 лет), снижение уровней поверхностного загрязнения почвы идет очень медленно. Прогнозные расчеты изменения уровней поверхностного загрязнения почвы юго-западных районов Брянской области с настоящего момента к 2056 г. приведены в таблице 1.

Таблица 1

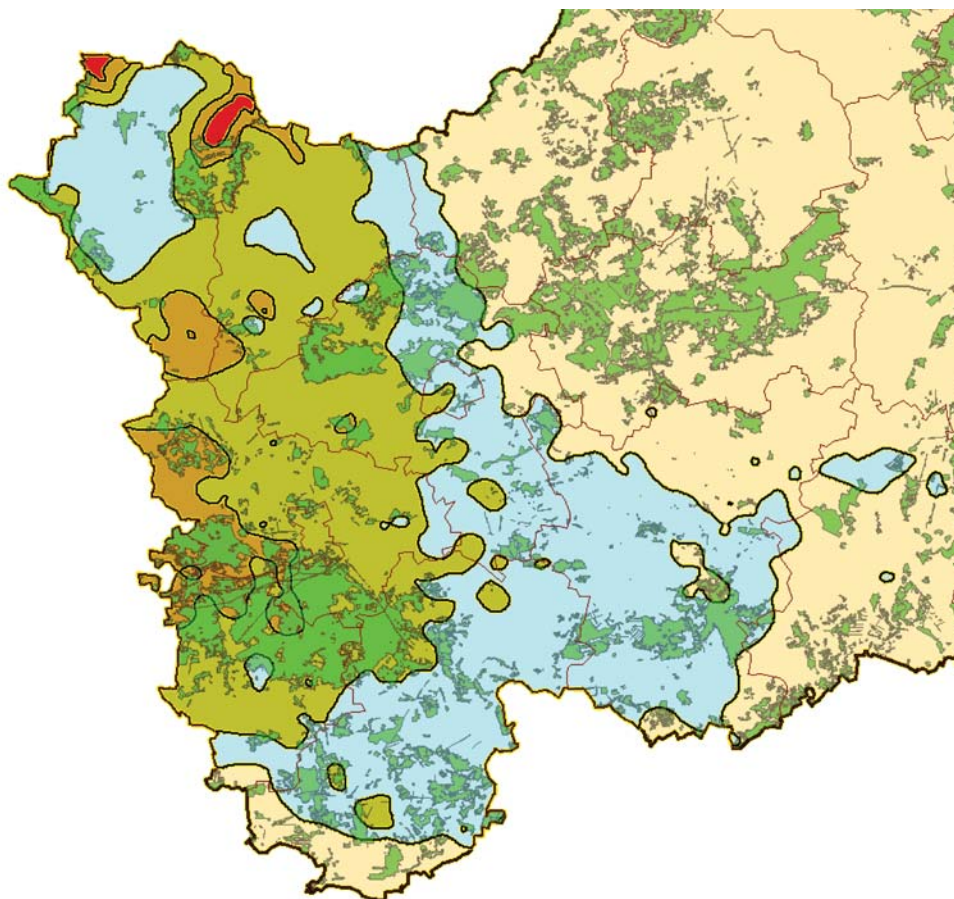
**Площади поверхностного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  исследуемых территории Брянской области на 2014 и 2056 гг.**

Поверхностное загрязнение $^{137}\text{Cs}$ , Ки/км <sup>2</sup> (кБк/м <sup>2</sup> )	Площадь загрязнения в 2014 г., км <sup>2</sup>	Площадь загрязнения в 2056 г., км <sup>2</sup>
1–5 (37–185)	3090	4651
5–15 (185–555)	2936	872
15–40 (555–1480)	615	42
>40 (>1480)	41	0
Всего	6682	5565



**Рис. 1.** Плотность поверхностного загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  в юго-западной части Брянской области на 1986 и 2056 гг. Обозначения: красный – >40 Ки/км<sup>2</sup>; оранжевый – 15–40 Ки/км<sup>2</sup>; зеленый – 5–15 Ки/км<sup>2</sup>; голубой – 1–5 Ки/км<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Автор выражает благодарность научному руководителю работы В.С. Репину за помощь в построении изолиний.



**Рис. 2.** Характеристика радиоактивного загрязнения территории Брянской области  $^{137}\text{Cs}$  в 2014 г. Обозначения: красный –  $>40 \text{ Ки/км}^2$ ; оранжевый –  $15\text{--}40 \text{ Ки/км}^2$ ; зеленый –  $5\text{--}15 \text{ Ки/км}^2$ ; голубой –  $1\text{--}5 \text{ Ки/км}^2$

Следует отметить, что, согласно прогнозам радиоактивного загрязнения исследуемой территории Брянской области на 2056 г., произойдет снижение уровней поверхностного загрязнения, но площадь загрязнения более  $37 \text{ кБк/м}^2$  по-прежнему будет обширной –  $5565 \text{ км}^2$ . В зону радиоактивного загрязнения территории по-прежнему будет попадать большая площадь лесных массивов, следовательно, проблема повышенного содержания  $^{137}\text{Cs}$  в грибах будет актуальна и в 2056 г. В связи с тем, что грибы являются одним из традиционных источников питания, население вплоть до 2056 г. будет получать дополнительную дозу внутреннего облучения от их потребления.

Наиболее пострадавшими в результате аварии на ЧАЭС являются шесть районов Брянской области: Красногорский, Гордеевский, Клинцовский, Новозыбковский, Злынковский и Климовский. На территориях этих районов на начало 2014 г. всего проживает 306 027 человек, из которых 167 685 человек являются городскими жителями и 138 342 – сельскими (табл. 2).

Одним из факторов, влияющих на КП  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в грибы, является тип почв. Для анализа типов почв было использовано растровое изображение почвенной карты Брянской области масштабом 1:1500 000 [15]. Используя набор инструментов MapInfo, мы построили отдельный слой карты типов почв исследуемых районов Брянской области (рис. 3).

Таблица 2

**Численность населения юго-западных районов Брянской области на 1 января 2013 г. [14]**

Район	Население		Всего
	Городское	Сельское	
Красногорский	5610	6862	12 472
Гордеевский	3077 (г. Гордеевка)	11 223	11 223
Клинцовский	69 593 (г. Клинцы)	19 539	19 539
Новозыбковский	40 773 (г. Новозыбков)	11 784	11 784
Злынковский	8 067	4 230	12 297
Климовский	13 444	15 533	28 997
Итого	167 685	138 342	306 027

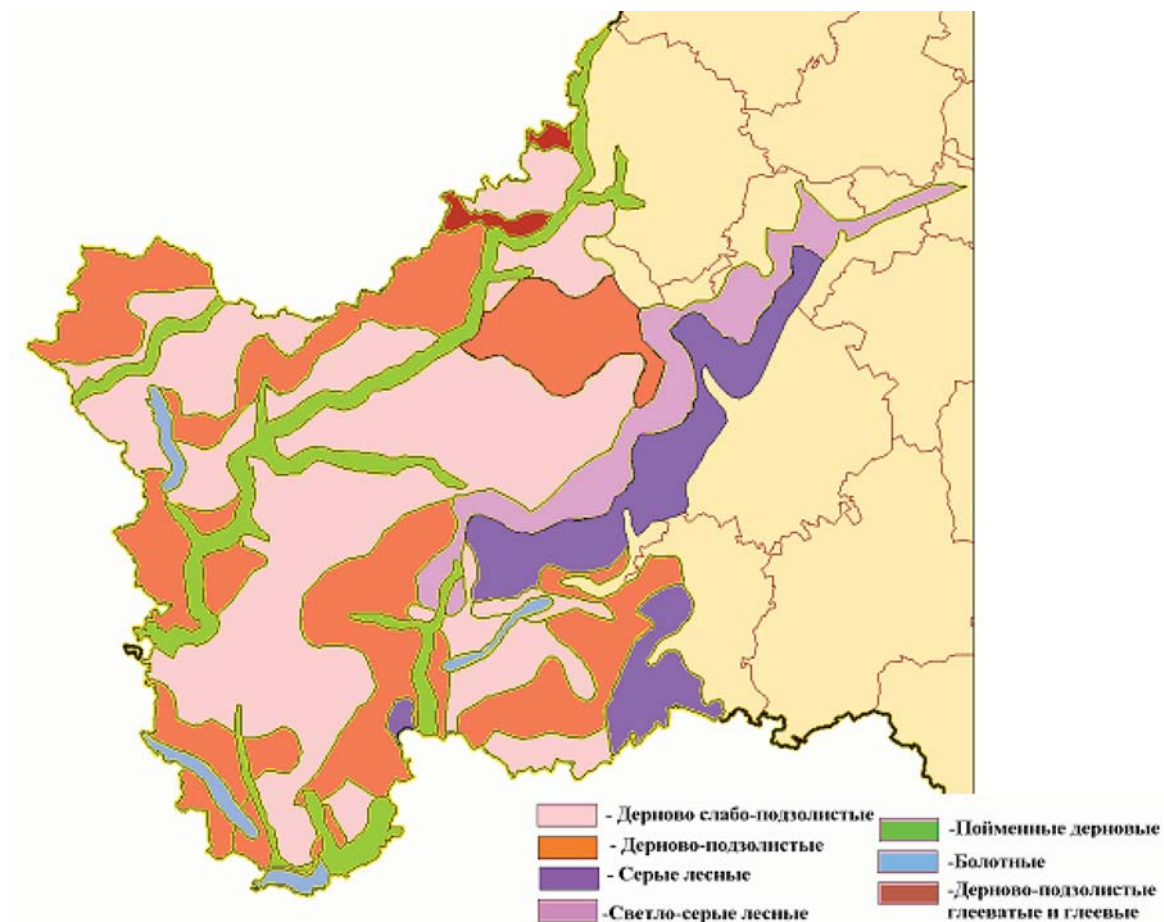


Рис. 3 Распределение типов исследуемых почв юго-западных районов Брянской области

Из рисунка 3 видно, что среди всех характерных для Брянской области типов почв преобладающими на ее загрязненных территориях являются дерново-подзолистые почвы (слабо- и среднеподзолистые) и небольшое количество пойменных дерновых почв, располагающихся в поймах рек, где, как правило, грибы практически не произрастают. Дерново-подзолистые почвы характеризуются низким содержанием физико-химических свойств (обменного калия ( $K_2O$ ), органического вещества (С), обменных оснований (S), емкости катионного обмена (ЕКО), содержания физической глины (глина)), что способствует увеличению КП  $^{137}Cs$  из почвы в грибы, а следовательно, – увеличению вклада в дозу внутреннего облучения населения в результате потребления грибов, произрастающих на этих типах почв.

Интенсивность сбора грибов нередко связана с удаленностью лесных массивов, поэтому важно иметь представление, в какой мере жители имеют возможность планировать посещение лесов. Ясно, что чем больше расстояние до леса, тем сложнее запланировать его посещение. С другой стороны, в ближнем лесу даже на сильно загрязненной территории велико искушение сбора грибов. На рисунке 4 можно видеть, что часть населенных пунктов окружены лесными массивами, а ряд пунктов находятся на удалении от лесов.

Обширное радиоактивное загрязнение территорий после аварии на ЧАЭС  $^{137}Cs$  впоследствии привело к существенному повышению его содержания в природных пищевых продуктах, в частности, в грибах, сбор и заготовка которых сельскими и городскими жителями России являются традиционными [16]. Изучение многолетней динамики КП  $^{137}Cs$  в различные виды грибов показало, что снижение темпов накопления происходит в них очень медленно (период полураспада составляет десятки лет) с незначительными вариациями по годам, это связано с аккумуляцией  $^{137}Cs$  в мицелии грибов, который способен задерживать до 40%  $^{137}Cs$ , мигрирующего вглубь почвенного профиля в течение всей своей жизни (10–20 лет) [2–3]. Таким образом, грибы в длительной перспективе будут играть существенную роль в формировании доз внутреннего облучения, являясь дополнительным источником облучения человека [6–8, 11–12].

На рисунке 5 представлен массив данных по коэффициентам перехода цезия-137 в грибы, собранные в Брянской области после аварии на ЧАЭС с 1986 по 2009 г., и показан тренд снижения КП в зависимости от времени, прошедшего после.

Обращает на себя внимание широкий разброс значений коэффициентов перехода, что вряд ли связано с типом почв, поскольку преобладают в основном дерново-подзолистые почвы.

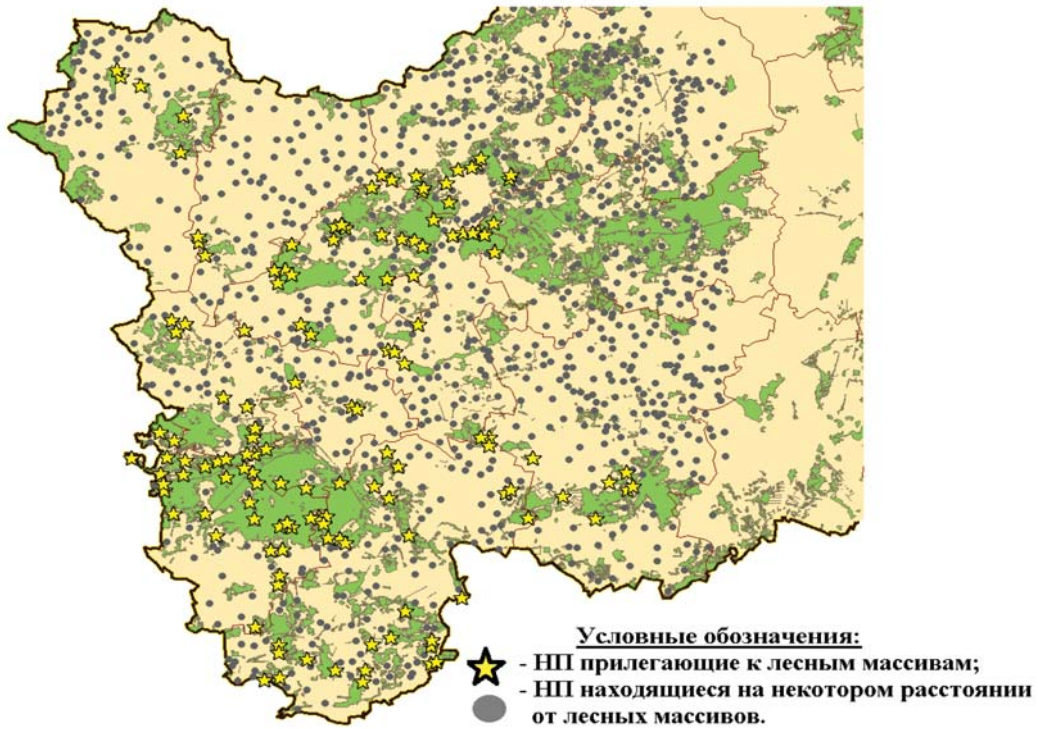


Рис. 4. Карта-схема НП юго-западного района Брянской области, располагающихся на разном расстоянии от лесных массивов

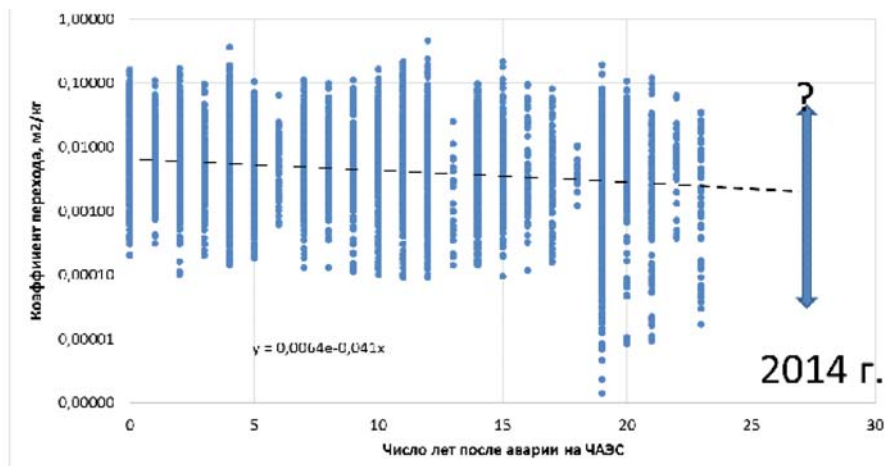
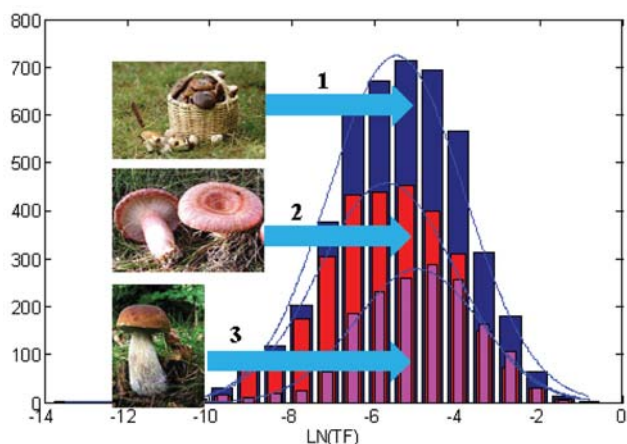


Рис. 5. Общая характеристика массива данных по коэффициентам перехода  $^{137}\text{Cs}$  в грибы в Брянской области с 1986 г. по данным, полученным в НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева

Темп снижения КП для всего массива данных, полученных в период с 1986 по 2008 г., характеризуется без учета радиоактивного распада периодом 17 лет.

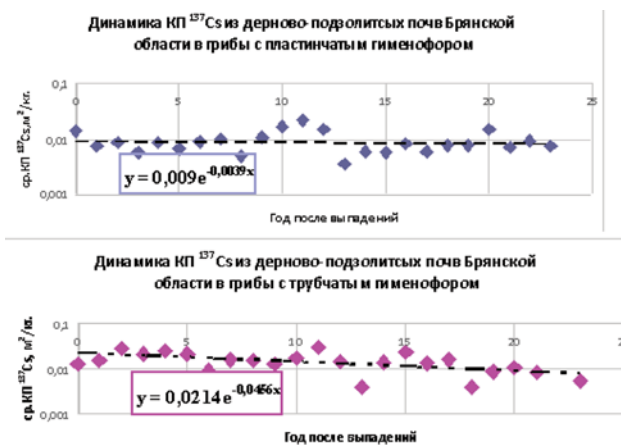
Анализ частотных распределений логарифмов коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  в грибы, различающиеся строением гименофора, по данным за период с 1987 по 2009 г., показывает, что КП в грибы с трубчатым гименофором (№ 3), в грибы с пластинчатым гименофором (№ 2) и в целом во все грибы (№ 1) находятся в очень широком диапазоне (рис. 6).



**Рис. 6.** Частотные распределения логарифмов коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  в грибы разных видов по данным НИИРГ и по своим собственным данным за период с 1987 по 2009 г.: 1 – грибы с пластинчатым и трубчатым гименофором; 2 – грибы с пластинчатым гименофором; 3 – грибы с трубчатым гименофором

Средние уровни значений КП для грибов с трубчатым строением гименофора (сиреневые столбцы) выше, чем для грибов с пластинчатым гименофором (красные столбцы). Это в основном объясняется тем, что у грибов, обладающих трубчатым строением гименофора (все болетовые: моховик, польский гриб, козляк, масленок осенний), микориза (грибница) располагается в более глубоких минеральных горизонтах почвы, куда  $^{137}\text{Cs}$  со временем, прошедшим после аварии, частично переместился за счет вертикальной миграции. Кроме того, приведенные виды грибов предпочитают влажные условия произрастания, что также способствует повышенной миграции  $^{137}\text{Cs}$  из почвы и растений, с которыми они образуют симбиотические связи.

Темпы снижения КП отдельно для грибов с трубчатым и пластинчатым гименофором показаны на рисунке 7. Из рисунка 7 видно, что темп снижения КП для грибов с трубчатым гименофором выше и составляет 15 лет, в то время как для грибов с пластинчатым гименофором – более 100 лет. Если выделить из всех анализируемых видов грибов с пластинчатым и трубчатым гименофором только грибы, относящиеся к группе сильноконцентрирующих, таких как моховик желтомясный, польский гриб, козляк, масленок осенний, груздь черный, горькушка, волнушка, рыжик, зеленушка, то КП для этой группы будут в 2 раза выше по отношению к грибам с пластинчатым гименофором и в 3 раза выше – по отношению к грибам с трубчатым гименофором.



**Рис. 7.** Динамика КП  $^{137}\text{Cs}$  из дерново-подзолистых почв Брянской области в грибы с трубчатым и пластинчатым гименофором

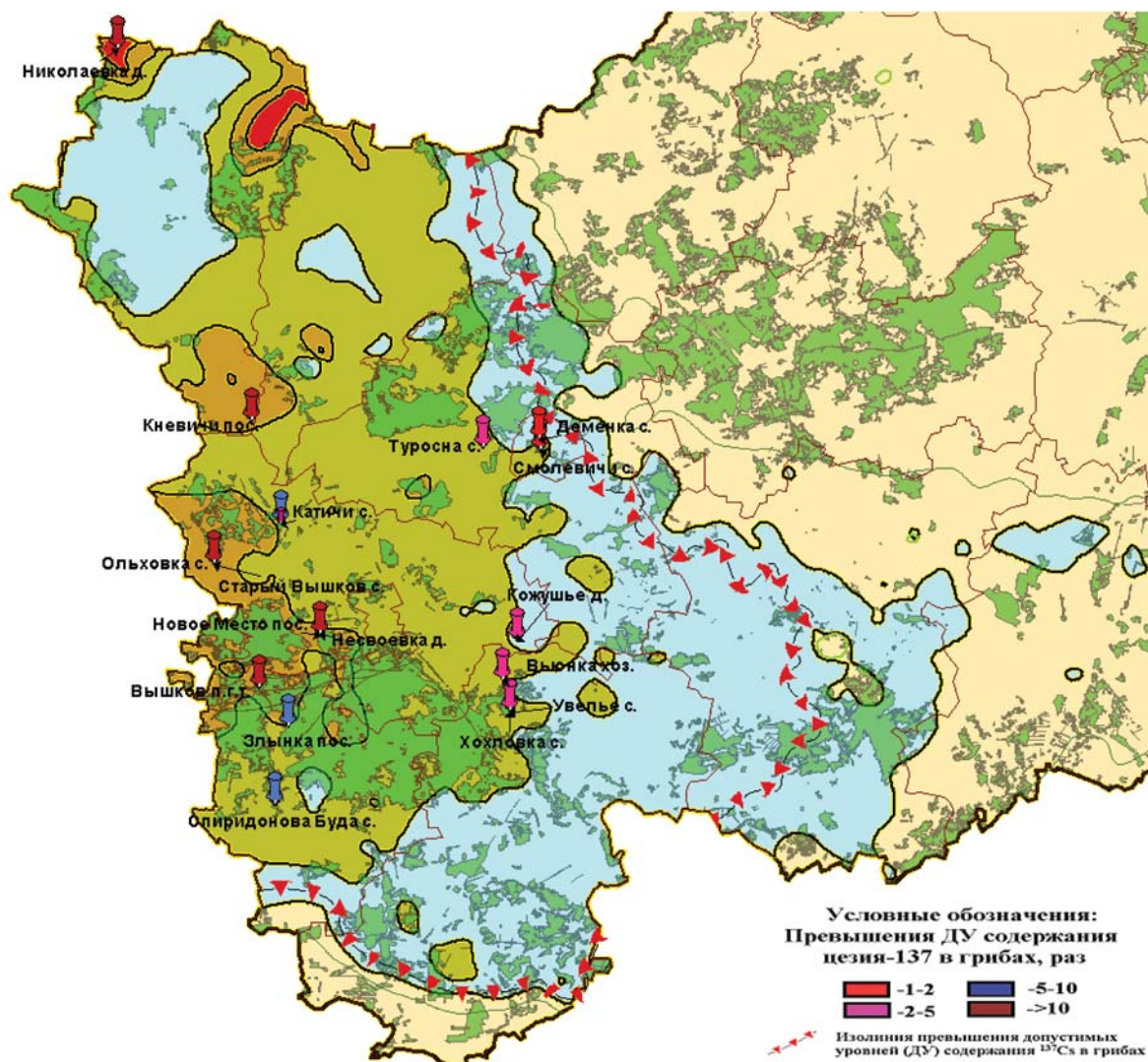
В связи с тем, что грибы не только являются продуктом личного потребления, но и распространяются через торговые сети (консервированные, свежемороженые), то для них устанавливаются определенные нормативы. Согласно нормативам единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований к товарам и продуктам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору [17], уровни допустимого содержания  $^{137}\text{Cs}$  в грибах не должны превышать 500 Бк/кг в свежих и 2500 Бк/кг в сухеных грибах.

Зная приблизительные средние значения КП для грибов разных видов, можно оценить, при каком уровне поверхностного загрязнения почвы содержание радионуклида в грибах будет соответствовать нормативу или превышать его в определенное число раз. Используя сведения об уровнях поверхностного загрязнения почвы в населенных пунктах на 2014 г., можно оценить уровень возможного содержания цезия в грибах. Обширный массив данных Росгидромета по плотности радиоактивного загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  позволил построить изолинии уровней превышения норматива содержания радионуклида на загрязненных территориях. Такие изолинии были построены для консервативного значения коэффициента перехода, принятого равным 0,01 м<sup>2</sup>/кг для всех видов грибов (см. рис. 7).

На рисунке 8 изолинией показана область превышения допустимых уровней (ДУ) содержания  $^{137}\text{Cs}$  в грибах с разным типом гименофора, отобранных в лесных массивах, характеризующихся различными уровнями поверхностного загрязнения почвы.

Потребление грибов может быть оценено уровнями ожидаемых доз внутреннего облучения.

На основе данных об уровнях поверхностного загрязнения почвы и ожидаемых значений коэффициентов перехода можно рассчитать прогнозируемые дозы внутреннего облучения населения, проживающего на территориях с разными уровнями поверхностного загрязнения почвы за счет потребления грибов.



**Рис. 8.** Изолиния превышения допустимых уровней (ДУ) содержания <sup>137</sup>Cs в грибах. Изменение плотности поверхностного загрязнения обозначено следующей градацией цвета: красный – >40 Ки/км<sup>2</sup>; оранжевый – 15–40 Ки/км<sup>2</sup>; зеленый – 5–15 Ки/км<sup>2</sup>; голубой – 1–5 Ки/км<sup>2</sup>. Символами разного цвета обозначены лесные участки, внутри которых произрастают грибы с превышением в них содержания <sup>137</sup>Cs в количестве раз

Модель оценки эффективных доз внутреннего облучения, обусловленного поступлением радионуклидов с грибами, включает ряд параметров: удельная активность радионуклидов, масса потребления, дозовые коэффициенты, связывающие поступление радионуклидов в организм человека и эффективную дозу внутреннего облучения [16].

Согласно статистическим данным опроса населения по эффективному годовому потреблению лесных грибов взрослыми жителями средней полосы европейской части России, средний объем потребления грибов населением, проживающим в селах, поселках городского типа и городах с числом жителей не более 100 тыс. человек, составляет от 8 до 10 кг/год [16].

Средние годовые ожидаемые дозы внутреннего облучения (D) за счет потребления грибов рассчитаны по формуле (1) в соответствии с Методическими указаниями [16]:

$$D = m \text{ (кг/год)} \times \sigma \text{ (Бк/м}^2\text{)} \times TF \text{ (м}^2\text{/кг)} \times d_k \text{ (мЗв/Бк)} \quad (1)$$

где: D – ожидаемая доза внутреннего облучения за счет потребления грибов, мЗв;

m – годовое эффективное потребление грибов, принятое равным 10 кг/год;

σ – плотность поверхностного загрязнения почвы исследуемой территории, Бк/м<sup>2</sup>;

TF – коэффициент перехода из почвы в грибы, принятый равным 0,01 м<sup>2</sup>/кг;

d<sub>k</sub> – дозовый коэффициент для пищевого пути поступления <sup>137</sup>Cs в организм человека; для взрослых мужчин и женщин принято среднее значение d<sub>k</sub>=1,3×10<sup>-5</sup> мЗв/Бк.

Результаты расчетов представлены в таблице 3, из которой видно, что при среднестатистическом потреблении 10 кг грибов в год, собранных на территориях с плотностью поверхностного загрязнения почвы в местах проживания населения от 15 до более 40 (555–1480) Ки/км<sup>2</sup> (кБк/м<sup>2</sup>),

доза внутреннего облучения за счет потребления грибов может достигать 0,75 и более 2 мЗв в год.

Таблица 3

**Результаты оценки ожидаемых доз за счет потребления грибов**

Поверхностное загрязнение <sup>137</sup> Cs, Ки/км <sup>2</sup> (кБк/м <sup>2</sup> )	Доза за счет потребления грибов, мЗв/год
1–5 (37–185)	0,05–0,25
5–15 (185–555)	0,25–0,75
15–40 (555–1480)	0,75–2
>40 (>1480)	> 2

**Заключение**

В результате проведенной работы был выполнен статистический анализ имеющегося массива данных по коэффициентам перехода <sup>137</sup>Cs из почвы в грибы разных видов и выявлены следующие закономерности: коэффициенты перехода в грибы с трубчатым гименофором, в грибы с пластинчатым гименофором и в целом во все грибы находятся в очень широком диапазоне. Снижение темпов накопления происходит во всех грибах очень медленно, период полураспада для всех грибов составляет десятки лет без учета радиоактивного распада. Темп снижения КП для грибов с трубчатым гименофором выше, чем для грибов с пластинчатым гименофором, что, по-видимому, объясняется глубиной залегания мицелия. Анализ проведенной оценки возможных доз внутреннего облучения населения от потребления грибов, произрастающих на территориях с различными уровнями плотности поверхностного загрязнения, показывает, что при среднестатистическом потреблении 10 кг грибов в год, собранных на территориях в местах проживания, доза внутреннего облучения за счет грибов может достигать 2 и более мЗв в год.

Разработана многослойная геоинформационная основа, позволяющая осуществлять картографический анализ данных и планировать экспедиционные исследования.

Проведенная предварительная работа, включающая картографический анализ данных по плотности поверхностного загрязнения почвы, типам почв, коэффициентам перехода <sup>137</sup>Cs в разные виды грибов, позволяет сделать ряд выводов относительно проблемы построения прогнозной модели, на основе которой можно предсказать, в течение какого периода времени и на каких территориях уровни загрязнения грибов не будут превышать установленных нормативов.

Для построения прогнозной модели необходимо провести дополнительное экспедиционное исследование с целью уточнения темпа снижения коэффициентов перехода <sup>137</sup>Cs в грибы разных видов, поскольку надежность представленных в работе оценок невелика ввиду существенного разброса данных. Предпочтительным регионом для такого исследования является Брянская область.

В рамках предстоящего экспедиционного исследования необходимо сопоставить ожидаемые уровни накопления цезия в грибы при различных уровнях поверхностного загрязнения почвы с фактическими уровнями, что позволит оценить надежность, с которой будет работать прогнозная модель.

Необходимо уточнить, в какой мере тип почвы и другие факторы могут влиять на коэффициенты перехода, и

исследовать возможность построения вариантов моделей, дающих данные оценки, характеризующиеся наименьшим разбросом данных.

**Литература**

1. Сборник «Данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239+240» по состоянию на 01 января 2013 года. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.
2. Щеглов, А.И. Грибы-биоиндикаторы техногенного загрязнения / А.И. Щеглов, О.Б. Цветнова // Ежемесячный естественнонаучный журнал РАН «Природа». – 2002. – № 11. С. 39–46.
3. Цветнова, О.Б. Многолетняя динамика накопления <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr высшими грибами / О.Б. Цветнова, А.И. Щеглов, Н.Д. Кучма // Почвоведение: Вестник Московского Университета. – 2004. – Серия 17, № 3. – С. 43–48.
4. Зарубина, Н.Е. Радионуклидное загрязнение высших грибов в результате аварии на Чернобыльской АЭС / Н.Е. Зарубина, В.В. Тришин // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: Труды международной конференции, Москва 5–6 декабря. – М., 2005. – Т. 3.
5. Воздействие радиоактивного загрязнения на антропогенные и сельскохозяйственные экосистемы. Дозы облучения населения в результате радиоактивного загрязнения окружающей среды при ядерных взрывах и авариях. Стратегии и контрмеры / под ред. Ю.А. Израэля. – С. 19–24.
6. Шутов, В.Н. Роль грибов и ягод в формировании дозы внутреннего облучения населения России после Чернобыльской аварии / В.Н. Шутов [и др.] // ЗНиСО. – 1998. – № 2. – М.: ФЦГСЭН Минздрава России. – С. 19–23.
7. Шутов, В.Н. Динамика радиоактивного загрязнения природных пищевых продуктов после аварии на Чернобыльской АЭС / В.Н. Шутов [и др.] // ЗНиСО. – 2003 – № 4. – М.: ФЦГСЭН Минздрава России. – С. 9–12.
8. Кадука, М.В. Роль грибов в формировании дозы внутреннего облучения населения после аварии на ЧАЭС. Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий / М.В. Кадука [и др.] // Труды международной конференции (Москва, 5–6 декабря 2005 года). – СПб: Гидрометеоздат, 2006. – Т. 3. – С. 230–239.
9. Ипатьев, В.А. Лес. Чернобыль. Человек. Лесные экосистемы после аварии на ЧАЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В.А. Ипатьев [и др.]. – Гомель, 1999.
10. Переволоцкий, А.Н. Прогнозная оценка содержания <sup>137</sup>Cs в лесных грибах и ягодах в зоне штатных выбросов Белорусской АЭС / А.Н. Переволоцкий, Т.В. Переволоцкая // Радиация и риск. – 2013. – Т. 22, № 2. – С. 61–66.
11. Шилова, К.В. Радиоактивное загрязнение природных пищевых продуктов в отдаленный период после аварии на ЧАЭС / К.В. Шилова, М.В. Кадука, В.Н. Шутов // Сборник тезисов международной научно – практической конференции, 15–17 сентября, г. С.-Петербург. «Гигиенические аспекты обеспечения радиационной безопасности населения на территориях с повышенным уровнем радиации», 2009г. – С. 73–74.
12. Шилова, К.В. Анализ загрязнения <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr пищевых продуктов природного происхождения, отобранных на территории Брянской области с 2008 по 2009 гг. / К.В. Шилова // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 55–61.
13. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Белоруссии (АСПА Россия-Беларусь) / под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. – М.: Фонд «Инфосфера» – НИА – Природа; Минск: Белкартография, 2009. – 140 с.



14. Официальные данные по оценке численности населения на 1 января 2013 года. База данных показателей муниципальных образований. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики Брянской области. – <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst15/DBInet.cgi>, дата обращения 28.05.2014
15. Атлас Брянской области. Главное управления геодезии и картографии при совете министров СССР, 1976. 32 с.
16. Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: Методические указания (МУ 2.6.1.2003-05). – М.: Минздрав России, 2005. / Оценка доз облучения населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: Сб. офиц. метод. документов. Издание третье.– СПб. – 2011. – 20 с.
17. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). – 2-е изд., спр. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – Приложение 3. – С. 175.

К.В. Шилова  
E-mail: varfolomeeva\_K@mail.ru

Поступила: 19.11.2014 г.

## Analysis of the dynamics of aggregative transfer factors of cesium-137 to mushrooms after the chernobyl accident as a basis for construction predictive models

K.V. Shilova

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V.Ramzaev,  
St. Petersburg

*In the present paper shows the analysis of the available data on levels of concentrations and aggregative transfer factors (TFag) of <sup>137</sup>Cs from soil to different species of mushrooms growing in the contaminated areas of the Bryansk region, which is used to improve predictive models for estimation the expected levels and the expected values of TFag and planning of further research.*

Keywords: *Bryansk region, radioactive contamination, food products of forest origin, <sup>137</sup>Cs, aggregative transfer factor(TFag), the half-period, internal exposure dose, GIS technology.*

In spite of the fact that nearly 28 years passed after the Chernobyl accident, decreasing of the soil surface activity levels occurs very slowly. For today total square of the territory of Bryansk region contaminated over 37 kBq/m<sup>2</sup> (1 Cu/km<sup>2</sup>) is more than 6682 km<sup>2</sup> (square kilometers). [1]. Due to the high level of residual radioactive contamination of large areas of Russia after the Chernobyl accident a long-term forecast of radioactive contamination of forest food products, contributing to the internal dose of the population living in these areas, is an topical task. In forest ecosystems mushrooms are the main dose-forming components in the food chain [2-4] (especially for critical groups such as inhabitants of contaminated areas, forestry workers, hunters and their families).

Currently, the main contribution to the dose (up to 80%) began to give natural foodstuffs, mainly mushrooms, which are traditional food of rural residents of contaminated areas [5-8].

For long-term forecast of the behavior of radionuclides in forest ecosystems, it is necessary to have a reliable mathematical model of the dynamics of the aggregative transfer factors (TFag), depending on the time and other factors that may effect on the TFag. The main parameters effecting on

the TFag from soil to mushrooms are: – soil surface activity; – physical-chemical properties of the soil (exchangeable potassium content, pH, concentration of exchangeable potassium (K<sub>2</sub>O), concentration of the organic substance (C), the sum of exchange bases(S), cation exchange capacity (CEC), the contents of aliphite and soil moisture); – Mushroom species specificity [9,10].

Because mushrooms are largely determined the dose of internal exposure of human and serve as indicators of the bio-availability of <sup>137</sup>Cs, it is necessary to clarify the parameters describing the rate of change of accumulation of <sup>137</sup>Cs depending on the time passed since the accident. This model will help to predict the expected average levels of contamination of mushrooms, the range of most probable values for the individual species of mushrooms, to identify areas where pollution levels mushrooms will be located within established standards, to give a more precise assessment of the contribution of mushrooms in individual and collective doses.

The objective of this article is to analyze the existing data to refine the parameters of the predictive model of estimates of the expected levels of <sup>137</sup>Cs in different species of mushrooms and the expected values of the TFag, as well as de-