



Департамент по ликвидации последствий  
катастрофы на Чернобыльской АЭС  
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь



Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение  
«Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»  
(ПГРЭЗ)



**Сборник докладов  
Международной научно-практической конференции  
«РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПОСЛЕДСТВИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ»**

**11-12 октября 2017 года  
г. Хойники, ПГРЭЗ, Гомельская область**

**Республика Беларусь**

Департамент по ликвидации последствий  
катастрофы на Чернобыльской АЭС  
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь

Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение  
«Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»  
(ПГРЭЗ)

**«Радиоэкологические и радиобиологические  
последствия Чернобыльской катастрофы»**  
(г. Хойники, 11-12 октября 2017 г.)

Материалы Международной  
научно-практической конференции

Под общей редакцией  
доктора медицинских наук, профессора И.Н. Семенени

Хойники  
ПГРЭЗ  
2017

Сборник подготовлен на основании материалов,  
предоставленных авторами

**«Радиоэкологические и радиобиологические последствия Чернобыльской катастрофы»** (г. Хойники, 11-12 октября 2017 г.) Материалы Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. доктора мед. наук, профессора И.Н. Семенени. – Хойники, ГПНИУ «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник». – Хойники: ГПНИУ «ПГРЭЗ», 2017. – 43 с.

Освещается круг вопросов, связанных с радиоэкологическими, радиобиологическими и медицинскими последствиями чернобыльской катастрофы. Сборник предназначен для экологов, радиобиологов, практических врачей, специалистов агропромышленного комплекса, представителей медицинских, биологических и сельскохозяйственных ВУЗов, а также научных работников, занимающихся минимизацией последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

**УДК 614.7+614.876+621.039**

© ГПНИУ «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

*Автушко М.И., Борисенко С.В.*

Оценка количественных параметров биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в сельскохозяйственных культурах на территориях, пострадавших от аварии на ЧАЭС, на современном этапе 6

*Бондарь Ю.И., Садчиков В.И., Калинин В.Н.*

Перенос  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{238,239+240}\text{Pu}$  из почвы в зерновые культуры в зоне отчуждения ЧАЭС 10

*Буздалкин К.Н.*

Оценка воздействия на окружающую среду пожаров в зонах отчуждения и отселения 21

*Буздалкин К.Н., Бортновский В.Н.*

Выбросы радионуклидов в атмосферу при использовании древесного топлива, заготовленного на территории радиоактивного загрязнения 28

*Булко Н.И., Машков И.А., Потапенко А.М., Толкачева Н.В., Козлов А.К.*  
Состояние разновозрастных сосновых насаждений в условиях высокого радиоактивного загрязнения 33

*В.В. Валетов, Е.И. Дегтярева*

Ведение земледелия и животноводства на территориях, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  38

*Вялкин И.В., Рожко А.В., Чешик А.А., Захарова О.Н.*

Медицинские последствия аварии на ЧАЭС 44

*Власова Н.Г., Висенберг Ю.В., Чунихин Л.А. Батян А.Н.*

Дозы облучения населения в отдалённом периоде после чернобыльской аварии 49

*Груммо Д.Г.*

Анализ динамики лесного покрова зоны аварии ЧАЭС на основе спутниковых данных LANDSAT 60

*Дроздов Д.Н., Чунихин Л.А.*

Двухэкспоненциальная модель для оценки текущих и накопленных доз внутреннего облучения населения пострадавшего в результате аварии на ЧАЭС 68

*Иванцов Д.Н., Гулаков А.В.*

Распределение радионуклидов в организме карася серебряного (*carassius auratus gibelio* bloch), выловленного в мелиоративной сети 73

Полесского заповедника

- Марченко Ю.Д., Калиниченко С.А., Ненашев Р.А., Головешкин В.В.*  
Радиоэкологические исследования в ближней зоне Чернобыльской АЭС 80
- Мирный С.В.*  
Чернобыльский туризм как элемент системы устойчивого возрождения и развития пострадавших территорий: от зоны – к месту всемирного наследия ЮНЕСКО 87
- Подольяк А.Г., Седукова Г.В., Лозовая З.В., Исаченко С.А., Симонов А.В., Апанасюк О.Н.*  
Единая стратегия обеспечения безопасности жизнедеятельности граждан Беларуси и России, проживающих на территориях, прилегающих к зонам отчуждения и отселения 96
- Подольяк А.Г., Дробышевская В.В., Аверин В.С.*  
Опыт обеспечения радиационной безопасности населения и территорий в Республике Беларусь после Чернобыльской катастрофы 105
- Семененя И.Н.*  
Существует ли проблема облучения населения от америция-241 чернобыльского происхождения 114
- Царенок А.А., Наумчик А.В., Гвоздик А.Ф., Макаровец И.В.*  
Влияние использования обезвоженного сапропеля в составе комбикорма на снижение поступления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из рациона в молоко коров 120
- Царенок А.А., Наумчик А.В., Гвоздик А.Ф., Макаровец И.В.*  
Особенности содержания водоплавающей птицы в условиях личных подсобных хозяйств на территории радиоактивного загрязнения 124
- Цыбулько Н.Н.*  
Типология загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель 128
- Чешик А.А., Веялкин И.В.*  
Анализ заболеваемости лейкозами у населения, пострадавшего от катастрофы на Чернобыльской АЭС 138
- Яночкин И.В.*  
Радиоэкологические аспекты производства говядины в сельскохозяйственных предприятиях Республики Беларусь, отвечающей санитарным правилам и нормам Таможенного союза 144

# ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОСТУПНОСТИ $^{137}\text{Cs}$ И $^{90}\text{Sr}$ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУРАХ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПОСТРАДАВШИХ ОТ АВАРИИ НА ЧАЭС, НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

*Автушко М.И. , Борисенко С.В.  
РНИУП «Институт радиологии», РБ*

Прогноз перехода радионуклидов из почвы в растения является неотъемлемой частью систем управления (менеджмента) безопасностью пищевых продуктов по радиологическим показателям, действующих в соответствии с международными стандартами ISO 22000 и HACCP (ISO 1420).

Кроме того, большинство радиоэкологических контрмер направлено именно на снижение перехода техногенных радионуклидов из почвы в растения, в том числе на перевод содержащихся в почве радионуклидов в биологически недоступное состояние или в иные физико-химические формы, в которых они будут менее доступны растениям.

Для получения более детализированной информации о трансфер-коэффициентах  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  для сельскохозяйственных культур, возделываемых в Беларуси, необходимы данные, характеризующие конкретные экологические условия на разных типах почв, что особенно актуально для земель, где уровни радиоактивного загрязнения с течением времени снижаются до безопасного уровня, что позволяет возвращать их в сельскохозяйственный оборот.

С этой целью была разработана база данных, которая позволяет производить ввод, хранение, систематизацию и поиск информации, а также эффективную выборку данных по запросам, при решении задач прогнозирования. Выполнен анализ и обобщение данных базы по параметрам перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  для сельскохозяйственных культур на минеральных типах почв и на органических (торфяных) почвах.

Результаты этой работы представлены в таблицах, оформленных в соответствии с аналогичными таблицами международного справочника МАГАТЭ (TRSN $\text{\textcircled{C}}$  472).

Верификация прогнозных значений параметров биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  по данным, полученным на реперных экспериментальных площадках, показывает, что использование базы данных позволяет прогнозировать уровни накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  растениеводческой продукцией с достоверностью, соответствующей величине неопределенности.

Для фильтрации и выборки данных, а также расчёта зависимостей биологической доступности от значений агрохимических показателей почв и других параметров, разработано программное обеспечение, с помощью которого созданы специальные окна с элементами управления.

Таблица 1 –Фрагмент таблицы прогнозных значений трансфер-коэффициентов  $^{137}\text{Cs}$

Культура	Часть растения	Почвы	N	Mean	Max	Min	SD	Un, %
Галега восточная	Наземная биомасса	Супесчаные	27	0,63	4,62	0,05	1,09	174
Горох	Наземная биомасса	Супесчаные	27	0,07	0,31	0,03	0,06	81
	Семена		10	0,1	0,25	0,04	0,07	70
Донник	Наземная биомасса	Супесчаные	6	0,1	0,21	0,04	0,07	70
		Органические	6	1,85	2,73	0,83	0,69	37
Ежа сборная	Наземная биомасса	Супесчаные	20	0,05	0,11	0,01	0,03	64
	Наземная биомасса	Органические	15	0,8	2,80	0,09	0,94	117
Картофель	Клубни	Супесчаные	21/69	0,07/0,093	0,30/ 0,06	0,04/ 0,004	0,05	77
	Наземная биомасса		10	0,09	0,12	0,06	0,02	23
	Клубни	Органические	4/7	0,14/0,058	0,68/ 0,54	0,02/ 0,016	0,14	97
	Наземная биомасса		10	0,06	0,13	0,02	0,03	60
	Клубни	Суглинистые	20/40	0,03/0,035	0,05/ 0,14	0,01/ 0,016	0,02	53
Клевер	Наземная биомасса	Супесчаные	20	0,05	0,18	0,02	0,04	76
	Наземная биомасса	Органические	4	1,71	2,47	0,49	0,88	51

Таблица 2 – Верификация прогнозных значений параметров биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  для зерна яровой пшеницы

Культура	Часть растения	Почва	Радионуклид	Данные	N	Mean	Max	Min	SD	Un, %
Пшеница яровая	Зерно	Супесчаная дерново-подзолистая	Sr	Эксп. участок	24	0,87	1,79	0,26	0,36	41
				База данных	48	1,04	1,79	0,52	0,29	28
			Cs	Эксп. участок	24	0,02	0,04	0,008	0,01	50
				База данных	48	0,11	0,35	0,01	0,06	55

На рисунке 1 представлен пример обработки и анализа экспериментальных данных, содержащихся в базе «Agro-Transfer», выполненные с применением ПО; показаны результаты прогнозирования биологической доступности радионуклидов применительно к выявлению зависимости значений коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из дерново-подзолистых супесчаных почв в зерно яровой пшеницы от содержания подвижного калия почвы.



Рисунок 1 – Зависимость коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  из дерново-подзолистых супесчаных почв в зерно яровой пшеницы от содержания подвижного калия

В состав программного обеспечения входит база экспериментальных данных и программные модули для их выборки, интерполяции и экстраполяции на конкретную прогнозируемую ситуацию с заданным набором агрохимических показателей.

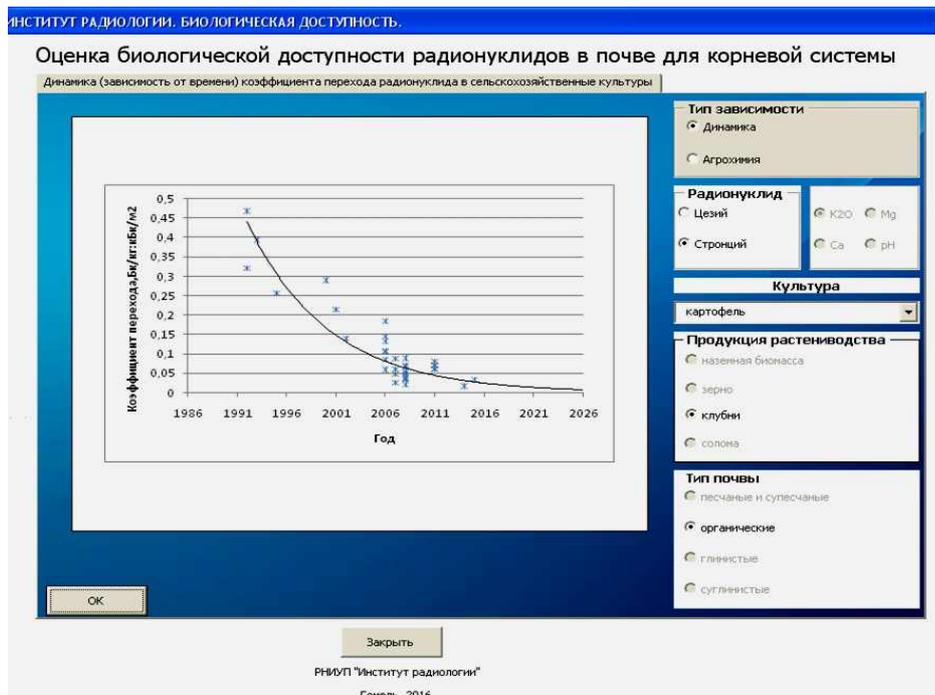


Рисунок 2 – Динамика коэффициента перехода  $^{90}\text{Sr}$  в клубни картофеля на органической почве

Представленная в таблицах информация, позволяет прогнозировать уровни накопления радионуклидов растениеводческой продукцией с вероятностью, соответствующей величине неопределенности  $Un$ .

$$U = \sqrt{\sum_i U_i^2}, \quad U_i = \frac{s_i}{x}, \quad \text{где } s_i = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad \text{где } U_i - \text{неопределенность,}$$
 связанная с  $i$ -тым фактором.

### Литература

1. Анненков, Б.Н. Введение сельского хозяйства в районах радиоактивного загрязнения (радионуклиды в продуктах питания) / Б.Н. Анненков, В.С. Аверин. – Минск: ПроPILEI, 2003. – 110 с.

2. Динамика биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва-растение после аварии на Чернобыльской АЭС / Н.И. Санжарова, С.В. Фесенко, Р.М. Алексахин // Доклады Российской Академии Наук. –1994, т.338, №4. – С. 564–566

3. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments, Technical Reports Series No. 472. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2010. – 196 с.

### ESTIMATION OF QUANTITATIVE PARAMETERS OF THE PRESENT-TIME BIOLOGICAL AVAILABILITY OF $^{137}\text{CS}$ AND $^{90}\text{SR}$ IN AGRICULTURAL CROPS IN THE AREAS AFFECTED AS A RESULT OF THE CHERNOBYL NPP ACCIDENT

*Avtushko M.I., S.V. Borisenko*

This article is devoted to improving the estimation of quantitative parameters of biological availability of radionuclides in agricultural crops. The study is based on the analysis of data on the transfer factors of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in agricultural crops. The information presented in the article makes it possible to predict the biological availability of radionuclides in relation to the determination of the dependence of the values of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  transfer factors from soil to crop production.

# ПЕРЕНОС $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{241}\text{Am}$ И $^{238,239+240}\text{Pu}$ ИЗ ПОЧВЫ В ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

*Бондарь Ю.И., Садчиков В.И., Калинин В.Н.*

*Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,  
г. Хойники, Беларусь*

В настоящее время основными дозообразующими радионуклидами, выброшенными в окружающую среду в результате чернобыльской аварии, являются  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Вместе с тем, со временем происходит изменение роли радионуклидов в формировании дозовой нагрузки. Вместе с  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  трансурановые элементы (ТУЭ) выделяют в группу наиболее биологически значимых радионуклидов, обладающих высокой токсичностью и большими периодами полураспада ( $T_{1/2} (^{238}\text{Pu}) = 88$  лет,  $T_{1/2} (^{239}\text{Pu}) = 2,41 \cdot 10^4$  лет,  $T_{1/2} (^{240}\text{Pu}) = 6540$  лет,  $T_{1/2} (^{241}\text{Am}) = 432,6$  года). В силу значительно более высоких периодов полураспада ТУЭ приобретает все большую актуальность вопрос их определения в растительности и организмах животных, обитающих в местах с повышенным содержанием радионуклидов в почве. Высокая токсичность и продолжительные периоды полураспада определяют радиоэкологическую значимость  $^{241}\text{Am}$  и изотопов плутония при их вовлечении в биологический круговорот. В отличие от  $^{137}\text{Cs}$ , доза облучения от  $^{90}\text{Sr}$  и ТУЭ формируется в основном за счет инкорпорированных в организме радионуклидов [1-4]. Аккумуляция ТУЭ в основные сельскохозяйственные зерновые культуры до сих пор изучено недостаточно, и соответствующая научная информация в настоящее время только накапливается. В научной печати имеются работы, связанные с изучением перехода плутония и америция по трофическим цепям, основные результаты которых внесены в базу данных МАГАТЭ [5, 6].

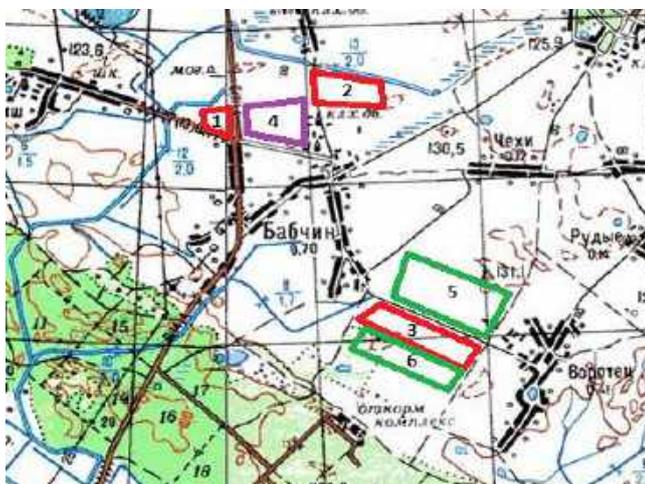
В последнее время стали появляться предложения о передаче некоторых участков ПГРЭЗ в хозяйственный оборот. Для оценки последствий возможных передач территорий еще не хватает экспериментальных данных, необходимых для прогноза возможного содержания изотопов плутония и америция в сельскохозяйственной продукции в случае ее получения на этих землях. С учетом роста активности  $^{241}\text{Am}$  за счет распада  $^{241}\text{Pu}$ , в долгосрочной перспективе значимость ТУЭ в формировании радиационной обстановки на территориях зон отчуждения и отселения будет возрастать.

Целью настоящего исследования являлось определение уровней загрязнения, коэффициентов накопления и перехода альфа-излучающих изотопов  $^{238-240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  в основные сельскохозяйственные зерновые культуры (овес, ячмень, тритикале) и солому от этих культур на территории зоны отчуждения.

## **Материалы и методика**

Объектами исследования явились вегетативные и генеративные органы зерновых культур, произрастающих на территории зоны отчуждения (овес,

ячмень, тритикале). Исследованные участки расположены в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике (ПГРЭЗ) на территории Хойникского р-на Гомельской обл. вблизи б.н.п. Бабчин и б.н.п. Воротец. Отбор проб почвы и зерновых культур проводился в 2014-2015 гг. на участках, местоположение которых приведено на рисунках 1, 2.



**Рис. 1** Карта-схема размещения участков с/х культур, выращенных на территории ПГРЭЗ в 2014 г. Участки 1, 2, 3 были засеяны культурой овса, 4 – культурой тритикале, 5, 6 – культурой ячменя.



**Рис. 2** Карта-схема размещения участков с/х культур, выращенных на территории ПГРЭЗ в 2015 г. Участок 1 был засеян культурой ячменя, участки 2, 3 – культурой тритикале, участок 4 – культурой овса.

Эти участки находятся на расстоянии 42 км напрямую от ЧАЭС в направлении на север. С каждого участка отбирались пробы почвы, зерна и соломы. Отбор проб почвы, зерна и соломы производили согласно утвержденным в Белоруссии стандартам. [Для отбора почвенных проб использовался стандартный пробоотборник диаметром 40 мм и высотой 200 мм. Пробы почвы отбирались с 4-х углов каждого участка (4 керна с одной площадки) на глубину 20 см. Пробы зерна и соломы отбирались из общей массы урожая после прохождения комбайна, по три образца с каждого участка. После предварительного высушивания, просеивания и

гомогенизации проб почвы проводилось инструментальное определение содержания  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почве каждого участка. Для определения концентрации  $^{239,240}\text{Pu}$  в образцах почвы, а также  $^{239,240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  в зерне и соломе использовался радиохимический метод.

Инструментальное определение содержания  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  в почве производилось на гамма-спектрометре Canberra. Этот прибор включает в себя многоканальный анализатор DSA 1000 и детектор из особо чистого германия с композитным углеродным окном, размещенный в свинцовом защитном блоке. Детектор имеет относительную эффективность 50 % и позволяет проводить измерение гамма- и рентгеновского излучения в диапазоне от 20 кэВ до 2 МэВ. Для унифицированной измерительной геометрии «Дента» минимально-детектируемая активность (МДА) для  $^{137}\text{Cs}$  составила  $1 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  при продолжительности измерения 24 часа. МДА для  $^{241}\text{Am}$  зависит от содержания  $^{137}\text{Cs}$  в пробе и составляет около  $1 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  при содержании  $^{137}\text{Cs}$  не более  $1000 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ . Расширенная неопределенность результатов измерений  $^{241}\text{Am}$  находилась в пределах 20-50 %.

Инструментальное определение содержания  $^{90}\text{Sr}$  производилось на гамма- бета-спектрометре МКС-АТ1315 производства НПО «Атомтех» (Минск) посредством регистрации  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучения сцинтилляционными блоками детектирования. Для регистрации  $\gamma$ -излучения применяется блок детектирования на основе сцинтилляционного кристалла  $\text{NaI(Tl)}$  цилиндрической формы диаметром и высотой, равными 63 мм. Для регистрации  $\beta$ -излучения используется органический сцинтиллятор на основе полистирола, активированного паратерфином, диаметром 128 мм и высотой 9 мм. Спектрометр обеспечивает регистрацию  $\gamma$ -излучения в диапазоне энергий от 50 до 3000 кэВ, а  $\beta$ -излучения – в диапазоне энергий от 150 до 3500 кэВ. Предел допустимой основной относительной погрешности измерения активности радионуклидов (спектрометрический метод) и удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  (радиометрический метод) при доверительной вероятности 0,95 не превышает  $\pm 20 \%$ . Результатом регистрации гамма- и бета-излучения исследуемой пробы заданной геометрии являются аппаратные спектры, которые выводятся в реальном масштабе времени на монитор персонального компьютера в диапазоне каналов от 0 до 1023. Программное обеспечение гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315 позволяет рассчитывать активность радионуклидов в пробе путем обработки полученных аппаратных спектров методом максимального правдоподобия. Анализ и обработке одновременно подвергаются данные  $\gamma$ - и  $\beta$ -спектрометрических трактов. Данный метод обработки спектров при измерении активности предполагает, что радионуклидный состав пробы известен, то есть не включает других искусственных радионуклидов помимо  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

*Подготовка растительности к радиохимическому анализу и его проведение.* Масса проб растительности, обрабатываемой при

радиохимическом анализе, составляла 70–500 г. Предварительное концентрирование производилось путем сжигания и включало в себя стадии высушивания (100°C), обугливания (100-350°C) и озоления (350-600°C). Выщелачивание озоленной пробы производилось с помощью 8 М HNO<sub>3</sub>. Из полученного раствора Pu концентрировался анионообменной смолой AG1-X8, а выделение <sup>241</sup>Am производилось с помощью экстракционно-хроматографической смолы TRU Resin. Химический выход контролировался с помощью <sup>242</sup>Pu и <sup>243</sup>Am производства компании «Eckert & Ziegler Isotope Products», вносимыми в пробу в количестве (0,02-0,04) и (0,05-0,10) Бк, соответственно. Тонкослойные мишени для альфа-спектрометрии готовились путем соосаждения определяемых радионуклидов с фторидом неодима. Измерения производились на альфа-спектрометрической системе «Alpha analyst» с кремниевыми полупроводниковыми детекторами типа PIPS с энергетическим разрешением < 20 кэВ и эффективностью регистрации не менее 18 %. Минимальная детектируемая активность (МДА) составляла не менее 0,001 Бк/кг [7].

### Результаты

В результате проведенных инструментальных и радиохимических измерений получены удельные активности (A<sub>y</sub>) <sup>238,239+240</sup>Pu, <sup>241</sup>Am, <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr почвы, зерна и соломы на 6-ти земельных участках в 2014 году и на 4-х в 2015 году. Определены также плотность загрязнения (ПЗ) этих участков рассматриваемыми радионуклидами. Измеренные и рассчитанные значения этих величин, и типы почв на участках приведены в табл. 1, 2, 3.

**Таблица 1.** Зерновая культура, тип почвы, удельная активность и плотность загрязнения почвы на экспериментальных участках.

№ участка. Зерновая культура. Тип почвы.	Содержание радионуклидов в почве, Бк/кг				Плотность загрязнения, Бк/м <sup>2</sup>			
	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>241</sup> Am,	<sup>239+240</sup> Pu	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>241</sup> Am	<sup>239+240</sup> Pu
Участок № 1. Овёс. Супесчаная почва.	855±171	85±31	1,9±0,3	1,0±0,15	268	26,7	605	314
Участок № 2. Овёс Супесчаная почва	1370±274	59±30	3,7±1,2	2,1±0,33	362	15,6	976	554
Участок № 3. Овёс. Дерново– подзолистая (легкий суглинок)	2420±484	116±44	4,9±1,5	4,25±0,84	709	34,0	1437	1246
Участок № 4. Тритикале. Супесчаная Почва.	1336±270	75±31	6,9±1,7	3,7±0,6	432	24,3	2232	1197
Участок № 5. Ячмень. Дерново– подзолистая (легкий суглинок)	2310±462	177±49	5,7±1,4	3,1±0,5	652	49,9	1608	875

Участок № 6. Ячмень. Дерново– подзолистая (легкий суглинок)	1855±370	133±41	5,3±1,6	3,0±0,5	540	38,7	1542	873
---	----------	--------	---------	---------	-----	------	------	-----

**Таблица 2** Содержание  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пробах зерна и соломы. 2014 г.

Участок № 1. Супесчаная почва	Овёс	
	Зерно	Солома
$^{137}\text{Cs}$ (измерение исходной пробы), Бк/кг	44,0±9,6	33,0±12,3
$^{90}\text{Sr}$ (измерение озоленных проб), Бк/кг, среднее зн.	25,8±5,4	142,8±30,2
$^{241}\text{Am}$ , мБк/кг	6,2±2	53,6±12
$^{239,240}\text{Pu}$ , мБк/кг	2,6±2	25±19
Участок № 2. Супесчаная почва	Овёс	
	Зерно	Солома
$^{137}\text{Cs}$ (измерение исходной пробы), Бк/кг	8,7±3,1	19,8±7,9
$^{90}\text{Sr}$ (измерение озоленной пробы), Бк/кг	33,5±7,5	87,6±22,1
$^{241}\text{Am}$ , мБк/кг	8,2±2,4	35±9
$^{239,240}\text{Pu}$ , мБк/кг	4,2±2,4	21±9
Участок № 3. Дерново–подзолистая почва	Овёс.	
	Зерно	Солома
$^{137}\text{Cs}$ (измерение исходной пробы), Бк/кг	27,5±7,0	45,2±12,0
$^{90}\text{Sr}$ (измерение золы пробы), Бк/кг	39,5±8,8	130,6±29,4
$^{241}\text{Am}$ , мБк/кг	47,6±6,8	50,5±10
$^{239,240}\text{Pu}$ , мБк/кг	28,3±9	28±7
Участок № 4. Супесчаная почва	Тритикале.	
	Зерно	Солома
$^{137}\text{Cs}$ (измерение исходной пробы), Бк/кг	5,2±1,8	37,8±12,0
$^{90}\text{Sr}$ (измерение озоленной пробы), Бк/кг	11,6±3,5	122,6±26
$^{241}\text{Am}$ , мБк/кг	5,6±1,7	61,7±15,1
$^{239,240}\text{Pu}$ , мБк/кг	3,0±1,8	39±14
Участок № 5. Дерново–подзолистая почва	Ячмень.	
	Зерно	Солома
$^{137}\text{Cs}$ (измерение исходной пробы), Бк/кг	22,8±5,2	35,5±12
$^{90}\text{Sr}$ (измерение озоленной пробы), Бк/кг	37,5±7,9	138±24
$^{241}\text{Am}$ , мБк/кг	6,6±1,8	37,6±9
$^{239,240}\text{Pu}$ , мБк/кг	3,7±2,2	24±17
Участок № 6. Дерново–подзолистая почва	Ячмень.	
	Зерно	Солома
$^{137}\text{Cs}$ (измерение исходной пробы), Бк/кг	7,8±2,8	22±8
$^{90}\text{Sr}$ (измерение озоленной пробы), Бк/кг	26,7±5,3	182±41
$^{241}\text{Am}$ , мБк/кг	7,5±1,6	53±11

$^{239,240}\text{Pu}$ , мБк/кг	5±3	40±19
--------------------------------	-----	-------

**Таблица 3** Содержание  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пробах зерна и соломы. 2015 г.

Участок № 1. Супесчаная почва	Ячмень.	
	Зерно	Солома
$^{137}\text{Cs}$ (измерение исходной пробы), Бк/кг	9,9±2,9	9,5±7,6
$^{90}\text{Sr}$ (измерение озоленной пробы), Бк/кг	30±15,4	141±38
$^{241}\text{Am}$ , мБк/кг	11,1±3	55,5±18
$^{239,240}\text{Pu}$ , мБк/кг	7,6±2	< 35
Участок № 2. Дерново–подзолистая почва	Тритикале.	
	Зерно	Солома
$^{137}\text{Cs}$ (измерение исходной пробы), Бк/кг	7,9±2,8	56,7±16
$^{90}\text{Sr}$ (измерение озоленной пробы), Бк/кг	41±21	205±45
$^{241}\text{Am}$ , мБк/кг	2,9±1,6	22±12
$^{239,240}\text{Pu}$ , мБк/кг	< 4	< 14
Участок № 3. Дерново–подзолистая почва	Тритикале.	
	Зерно	Солома
$^{137}\text{Cs}$ (измерение исходной пробы), Бк/кг	4,8±2	11,1±6,2
$^{90}\text{Sr}$ (измерение золы пробы), Бк/кг	24±15	105±33
$^{241}\text{Am}$ , мБк/кг	3,6±1,3	32±12
$^{239,240}\text{Pu}$ , мБк/кг	4±2	< 25
Участок № 4. Дерново–подзолистая почва	Овес.	
	Зерно	Солома
$^{137}\text{Cs}$ (измерение исходной пробы), Бк/кг	19±5	72,4±19
$^{90}\text{Sr}$ (измерение золы пробы), Бк/кг	134±37	452±99
$^{241}\text{Am}$ , мБк/кг	6,6±2,5	51±16
$^{239,240}\text{Pu}$ , мБк/кг	4±2	< 30

По полученным результатам, приведенных в таблицах 1, 2, 3 рассчитаны средние значения коэффициентов накопления  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  ( $F_v$ ) в зерне и соломе рассматриваемых культур и коэффициентов перехода ( $T_v$ ) этих радионуклидов из почвы в зерно и солому.  $F_v$  определялось как отношение  $A_y$  радионуклида в высушенной растительности к  $A_y$  сухой почвы на соответствующем участке.  $T_v$  – отношение  $A_y$  радионуклида в высушенной растительности к плотности загрязнения почвы (ПЗ) на соответствующем участке. Здесь и далее будем использовать для коэффициентов накопления и перехода обозначения и символы, принятые в публикациях МАГАТЭ.

Рассчитанные значения  $F_v$  и  $T_v$  исследуемых радионуклидов в зерновых культурах и соломе даны в таблицах 4, 5.

**Таблица 4** Коэффициенты накопления и перехода  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в зерновых культурах и соломе. Результаты 2014 года.

№ участка. Зерновая культура.	Орган растения	$F_{v,Am}$ $10^{-3}$	$T_{vAm}$ $10^{-5}$ м <sup>2</sup> /кг·	$F_{v,Pu}$ $10^{-3}$	$T_{vPu}$ $10^{-5}$ м <sup>2</sup> /кг·	$F_{v,Cs}$	$T_{vCs}$ , $10^{-5}$ м <sup>2</sup> /кг·	$F_{v,Sr}$	$T_{vSr}$ $10^{-3}$ м <sup>2</sup> /кг·
Участок	зерно	3,26	1,0	2,63	0,84	0,012	5	0,333	0,97

№ 1.Овес	солома	28,2	8,9	25,3	8,1	0,04	12	1,67	5,4
Участок № 2, Овёс	зерно	3,7	1,4	3,05	1,2	0,006	2,4	0,58	2,2
	солома	9,5	3,6	10,2	3,8	0,015	5,5	1,5	5,64
Участок № 3, овёс	зерно	10,2	3,3	6,7	2,23	0,032	3,9	0,34	1,16
	солома	10,3	3,5	6,6	2,3	0,052	6,4	1,13	3,8
Участок № 4, тритикале	зерно	0,82	0,25	0,8	0,25	0,004	1,2	0,15	0,47
	солома	9,0	2,8	10,6	3,3	0,028	8,75	1,63	5,1
Участок № 5, ячмень	зерно	1,17	0,42	1,25	0,44	0,01	3,5	0,21	0,75
	солома	6,61	2,3	7,85	2,8	0,015	5,4	0,78	2,76
Участок № 6, ячмень	зерно	1,47	0,5	1,66	0,57	0,004	1,44	0,2	0,68
	солома	9,94	3,4	12,8	4,4	0,012	4,2	1,37	4,7

**Таблица 5** Коэффициенты накопления и перехода  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в зерновых культурах и соломе. Результаты 2015 года.

№ участка. Зерновая культура.	Орган растения	$F_{v,Am}$ $10^{-3}$	$T_{vAm}$ $10^{-5}$ м <sup>2</sup> /кг·	$F_{v,Pu}$ $10^{-3}$	$T_{vPu}$ $10^{-5}$ м <sup>2</sup> /кг·	$F_{v,Cs}$ $10^{-3}$	$T_{vCs}$ $10^{-5}$ м <sup>2</sup> /кг	$F_{v,Sr}$	$T_{vSr}$ $10^{-5}$ м <sup>2</sup> /кг
Участок № 1.Овес	зерно	5,6	1,77	7,3	2,9	10,0	3,3	0,192	0,6
	солома	28,0	8,9	< 32,0	<12,1	11,0	3,54	1,66	5,3
Участок №2, Овёс.	зерно	0,51	0,18	2,1	0,73	6,0	1,21	0,187	0,66
	солома	3,9	1,37	6,8	2,4	41,0	8,7	1,16	4,1
Участок №3. Овёс.	зерно	0,72	0,25	0,94	0,32	2,0	0,65	0,194	0,66
	солома	6,5	2,23	< 6,7	<2,27	4,6	1,56	1,04	3,4
Участок № 4. Тритикале	зерно	1,2	0,42	1,3	0,46	13,0	2,63	0,67	2,37
	солома	9,2	3,25	< 13,0	<4,5	53,0	11,1	2,55	9,1

### Обсуждение

В табл. 3.1, 3.2, 3.3 представлены значения удельной активности  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почве, зерновых культурах и соломе, а также плотности загрязнения каждого из участков. Участки характеризуется невысокой плотностью загрязнения почвы и удельной активностью ( $A_y$ ) изотопов плутония  $^{239,240}\text{Pu}$  (до 1,25 кБк/м<sup>2</sup>, 4,3 Бк/кг) и  $^{241}\text{Am}$  (до 2,3 кБк/м<sup>2</sup>, 6,9 Бк/кг), соответственно. Ввиду незначительности переноса ТУЭ из почвы в растения, многие измеренные значения содержания  $^{239,240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в зерне и соломе оказались меньше минимально детектируемой активности (МДА) (табл. 3.2, 3.3), что ограничивает возможности анализа полученных данных. Особенно часто такая ситуация встречается в случае  $^{238}\text{Pu}$ , что обусловлено более высоким содержанием именно этого изотопа в используемом трассере  $^{242}\text{Pu}$ , то есть его радиоактивным загрязнением.

Авторы работ [1, 3, 4, 8] полагают, что биологическая подвижность ТУЭ в условиях окультуренной почвы заметно возрастает по сравнению с ненарушенной почвой природных комплексов. Значения коэффициентов накопления у культурных видов трав по результатам этих работ в 10–100 раз выше, чем у дикорастущих видов, а различия в уровнях аккумуляции ТУЭ

сельскохозяйственными культурами разной видовой принадлежности выражены слабее [1, 3]. С нашей точки зрения для подтверждения или опровержения этого важного вопроса необходимы дополнительные экспериментальные и теоретические исследования с целью сопоставления данных для культурных и дикорастущих растений и объяснения этого явления.

В ряде работ [9 - 11] авторами указывалось на более высокое содержание ТУЭ в вегетативных органах растений по сравнению с его генеративными органами. По данным МАГАТЭ [5, 6] накопление ТУЭ, а также  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в зерновых злаках в среднем на порядок ниже, чем накопление вегетативными органами. В целом это заключение подтверждается выводами настоящей работы (табл. 2, 3). В частности среднее отношение содержания  $^{241}\text{Am}$  в зерне к таковому в соломе по данным 2014 г. составляет 0,31, а по данным 2015 г. – 0,14. В случае  $^{239,240}\text{Pu}$  эта величина по данным 2014 г. составляет 0,29. К сожалению, результаты определения содержания  $^{239,240}\text{Pu}$  в соломе урожая 2015 г. оказались недостаточно хорошими ( $< \text{МДА}$ ), чтобы позволить рассчитать это соотношение. Можно также показать (см. табл. 4, 5), что отношения средних значений  $F_v$  соломы к соответствующему  $F_v$  по зерну для  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  равны 4,7, 3,66, 4,8 и 2,8 соответственно. Аналогичная картина наблюдается и для величин  $T_v$  рассматриваемых радионуклидов. То есть накопление радионуклидов в соломе в разы превосходит накопление их в зерне.

Согласно ряду авторов [1, 3, 4, 6], переход ТУЭ в растения возрастает в порядке  $\text{Pp} > \text{Am} = \text{Cm} > \text{Pu}$ . При этом коэффициенты накопления  $F_v$  и перехода  $T_v$  для  $^{241}\text{Am}$  в разы выше таковых для Pu. Считается, что для чернобыльской зоны характерен более интенсивный переход  $^{241}\text{Am}$  по сравнению с изотопами плутония в растения [1, 3]. Данные по содержанию  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  нашего отчета в пробах зерна и соломы (табл. 2, 3) также указывают на более высокую биологическую активность  $^{241}\text{Am}$  в чернобыльской зоне и это подтверждается преобладающим (свыше 50 %) вкладом  $^{241}\text{Am}$  в суммарное содержание ТУЭ в наземной части исследованных зерновых культур. В то же время данные МАГАТЭ [5, 6] не демонстрируют резкого отличия в коэффициентах накопления. Так, в случае злаков для всех видов почв в этом документе приводится среднее значение  $F_v$ , равное в случае америция  $2,2 \cdot 10^{-5}$ , а для плутония –  $9,5 \cdot 10^{-6}$ . Приводимые при этом интервалы данных, представленных в литературе, чрезвычайно широки – от ( $7,4 \cdot 10^{-7} - 3,4 \cdot 10^{-2}$ ) в случае америция до ( $2 \cdot 10^{-7} - 1,1 \cdot 10^{-3}$ ) в случае плутония. В значительной степени это может быть обусловлено как разнообразием форм существования ТУЭ в почвенном растворе, так и трудоемкостью получения аналитических данных. Иная ситуация складывается в работах [10, 11]. По результатам этих работ, проведенных в период с 2010 по 2014 гг. на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) по изучению поступления и накопления

искусственных радионуклидов в сельскохозяйственных растениях, были получены  $F_v$  этих нуклидов. Диапазон значений  $F_v$   $^{90}\text{Sr}$  ( $7,1 \cdot 10^{-3} - 2,0$ ),  $F_v$   $^{239,240}\text{Pu}$  ( $1,3 \cdot 10^{-3} - 0,5$ ),  $F_v$   $^{241}\text{Am}$  ( $7,7 \cdot 10^{-4} - 3,5 \cdot 10^{-2}$ ) и  $F_v$   $^{137}\text{Cs}$  ( $2,1 \cdot 10^{-3} - 0,12$ ) для всех растительных образцов. Для количественной оценки разницы в накоплении радионуклидов в сельскохозяйственных растениях рассчитаны отношения  $F_v$   $^{90}\text{Sr} / F_v$   $^{137}\text{Cs}$  (23,6),  $F_v$   $^{239,240}\text{Pu} / F_v$   $^{241}\text{Am}$  (5,4) и был установлен следующий убывающий ряд:  $F_v$   $^{90}\text{Sr} > F_v$   $^{137}\text{Cs} > F_v$   $^{239,240}\text{Pu} > F_v$   $^{241}\text{Am}$  [10, 11].

В нашем случае значения  $F_{v,pu}$  для зерна на участках (см. табл. 4, 5) изменяются от  $8,0 \cdot 10^{-4}$  до  $7,3 \cdot 10^{-3}$ , для соломы  $6,6 \cdot 10^{-3} - 2,5 \cdot 10^{-2}$ . Значения  $F_{v,Am}$  для зерна на участках изменяются от  $5,1 \cdot 10^{-4}$  до  $10,2 \cdot 10^{-3}$ , для соломы  $6,5 \cdot 10^{-3} - 2,8 \cdot 10^{-2}$ . Величины средних значений отношений  $F_v$   $^{239,240}\text{Pu} / F_v$   $^{241}\text{Am}$  для зерна равны 0,95, а для соломы 1,04. Из сравнения видно, что минимальное значение  $F_{v,pu}$ , полученное на территории СИП, равно максимальной величине  $F_{v,pu}$  в публикациях МАГАТЭ [5, 6]. Существенное отличие  $F_{v,pu}$  на территории СИП от наших и общеизвестных данных можно объяснить тем, что содержание  $^{239,240}\text{Pu}$  в почве на территории СИП [10, 11] на порядок выше концентраций  $^{241}\text{Am}$  в чернобыльской зоны, где отношение  $A_y$   $^{239,240}\text{Pu} / A_y$   $^{241}\text{Am}$  на 2014-2015 гг. составляла 0,55 – 0,52. Можно предположить, что коэффициенты  $F_v$  и  $T_v$  зависят не только от типа почвы, её кислотности и др. [12], а как показывают результаты, приведенные выше, являются функциями концентрации радионуклидов в почве, вид которых пока не ясен.

Более 90 % активности  $^{90}\text{Sr}$  было выброшено в 1986 г. из 4-го блока ЧАЭС в составе матрицы топливных частиц вместе с ТУЭ, что привело к загрязнению, в основном, ближней 30-километровой зоны отчуждения [12]. Поэтому логично было рассмотреть и проанализировать уровни концентрации, коэффициенты накопления и перехода  $^{90}\text{Sr}$  в зерновые культуры на фоне ТУЭ.

Из табл. 2, 3 видно, что величины  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в зерне и соломе на всех участках и для всех злаков имеют наибольшие значения по сравнению с другими радионуклидами. Диапазон этих величин равен 23 – 121 Бк/кг в зерне и 79 – 452 Бк/кг в соломе. Величины ДУ  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  для продовольственного зерна в Беларуси составляют 90 и 11 Бк/кг соответственно [13].  $F_v$   $_{\text{Sr}}$  изменяется в диапазонах 0,15 – 0,72 и 0,78 – 2,55 для зерна и соломы, а для  $F_v$   $_{\text{Cs}}$  имеют значения  $3,4 \cdot 10^{-3} - 11,3 \cdot 10^{-2}$  и  $11,1 \cdot 10^{-3} - 1,9 \cdot 10^{-1}$  соответственно. Величины средних значений отношений  $F_v$   $^{239,240}\text{Pu} / F_v$   $^{241}\text{Am}$  и  $F_v$   $_{\text{Sr}} / F_v$   $_{\text{Cs}}$  для зерна равны 0,95 и 33,5, а для соломы 1,04 и 70 соответственно. Из этого следует, что на территории ПГРЭЗ, также как и на территории СИП [10, 11], в первую очередь в настоящий период на качество (с точки зрения загрязненности) зерновых культур будет определять именно  $^{90}\text{Sr}$ , который является наиболее подвижным радионуклидом. Особое внимание на загрязнение продовольственного зерна  $^{90}\text{Sr}$  в районах, примыкающих к зоне отчуждения ЧАЭС на Украине, было уделено в работе [12].  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в зерне, производимом в этих районах, достигал 60-70 Бк/кг, что

превышал допустимый уровень (ДУ) на Украине для продовольственного зерна – 20 Бк/кг. Следует отметить, что значения коэффициентов  $F_{v,Sr}$  для зерновых культур, полученных в наших исследованиях, полностью соответствуют таковым работы [12].

Таким образом, полученные в данной работе значения коэффициентов  $F_v$  и  $T_v$  исследованных ТУЭ для зерновых культур хорошо согласуются с обобщенными данными МАГАТЭ для песчаных, супесчаных и дерново-подзолистых почв. Самые высокие концентрации и значения коэффициентов  $F_v$  и  $T_v$  для всех радионуклидов приходятся на овес и солому от него на дерново-подзолистой почве. На примере зерновых культур показана необходимость рассмотрения накопления и перехода ТУЭ и  $^{90}\text{Sr}$  в сельскохозяйственные культуры как в зоне отчуждения, так и на прилегающих к ней территориях.

Настоящая работа выполнена в рамках международного проекта МАГАТЭ ВУЕ7004 «Strengthening Capacity to Assess Behaviour of Transuranium Elements in the Chernobyl NPP Exclusion Zone and Adjacent Areas» на 2014–2015 гг.

### Литература

1. Конопля Е.Ф., Кудряшов В.П., Миронов В.П. Радиация и Чернобыль: Трансурановые элементы на территории Беларуси. Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2007. – 128 с.
2. Кудряшов В.П., Король Р.А., Быковский В.В. Накопление трансураниевых элементов дикими и домашними животными на загрязненной территории Гомельской области. // Радиация и экосистемы: Материалы международной научной конференции. / под общ. ред. Е.Ф. Конопля. Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2008. С. 77-80.
3. Конопля Е.Ф., Кудряшов В.П., Гриневич С.В., Король Р.А. Бажанова Н.Н., Быковский В.В. Трансурановые элементы на территории Беларуси // Радиационная биология. Радиоэкология. 2009. Т. 49, № 4, С. 495–501.
4. Sokolik G.A., Ovsiannikova S.V., Ivanova T.G, Leinova S.L. Soil–plant transfer of plutonium and americium in contaminated regions of Belarus after the Chernobyl catastrophe // Environment International 30 (2004) 939– 947
5. Quantification of Radionuclide Transfers in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments. IAEA-TECDOC-1616. Vienna: IAEA, 2009.
6. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh-water environments. IAEA Technical Reports Series № 472. Vienna: IAEA, 2010.
7. Бондарь Ю. И., Забродский В. Н., Садчиков В. И. Калинин В. Н. Накопление изотопов  $^{238,239+240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  в органах и тканях кабана на территории белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2015, том 55, № 6, с. 1–9.

8. Наумов А.Д., Тимохина Н.И., Никитин А.Н. Современные радиозэкологические проблемы регионов, пострадавших в результате катастрофы на ЧАЭС. Радиация, экология и техносфера: материалы межд. науч. конф. (Гомель, 26–27 сент. 2013 г.) / НАН Беларуси, институт радиобиологии, редкол. : А.Д. Наумов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Ин-т радиологии, 2013. 220 С.

9. Romney E.M., Wallace A., Schultz R.K. Plant uptake of  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  and  $^{244}\text{Cm}$  from soils representing major food production areas of the United States // *Soil Sci.* – 1981. Vol. 132, N 1. P. 40-58.

10. Кожуханов Т.Е., Лукашенко С.Н., Иванова А.Р., Кундузбаева А.Е., Магашева Р.Ю. К вопросу о вариативности поступления искусственных радионуклидов в растениеводческую продукцию при её производстве на пл. «Опытное поле» территории СИП. / Актуальные вопросы радиозэкологии Казахстана / под ред. С.Н. Лукашенко.– Павлодар: дом печати, 2013. Вып. 4 Т. 2 С.113-135. Сб. тр. Нац. Ядер. Центра РК за 2011–2012гг. – 476 с.

11. Кожуханов Т.Е., Лукашенко С.Н. Накопление искусственных радионуклидов сельскохозяйственными растениями на территории СИП. / Book of abstracts VI International scientific and practical conference “Semipalatinsk test site. Radiation legacy and development prospects” September 24–26, 2014. S. 55-57. с. Kurchatov, East-Kazakhstan Region, Republic of Kazakhstan.

12. Кашпаров В. А., Левчук С. Е., Отрешко Л. Н., Малоштан И. М. Загрязнение сельскохозяйственной продукции  $^{90}\text{Sr}$  в Украине в отдаленный период после Чернобыльской аварии. // Радиационная биология. Радиозэкология. 2013, том 53, № 6, с. 639-650.

13. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в сельскохозяйственном сырье и кормах. 1999 г.

## **THE TRANSFER OF $^{137}\text{CS}$ , $^{90}\text{SR}$ , $^{241}\text{AM}$ AND $^{238,239+240}\text{PU}$ FROM SOIL TO CROPS IN THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE**

*Bondar Y. I., Sadchikov V. I., Kalinin V. N.*

Activities of  $^{238,239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in soil, grain and straw are defined. Average values of coefficients of accumulation in grain and straw of the considered crops and transfer factors of these radionuclides from soil to grain and straw are calculated. The values of investigated coefficients for grain crops are in good agreement with the aggregated IAEA data for sandy, sandy loam and soddy podzolic soils.

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПОЖАРОВ В ЗОНАХ ОТЧУЖДЕНИЯ И ОТСЕЛЕНИЯ

*Буздалкин К.Н.*

*Полесский государственный радиационно-экологический заповедник*

*г. Хойники, Республика Беларусь*

К чрезвычайным ситуациям, которые могут приводить к распространению радионуклидов за пределы 30-км зоны Чернобыльской АЭС, в том числе к транграничному влиянию, относятся природные пожары на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. В среднем на территории заповедника происходит 5 пожаров в год.

Оценка воздействия на окружающую среду проводилась по «эгоцентрическому» принципу: исследовалось радиационное воздействие на наиболее слабое, радиочувствительное звено – человека. В этих целях при пожарах в зонах отчуждения и отселения на территории заповедника и в прилегающих населённых пунктах проводится оперативный контроль радиоактивного загрязнения приземного слоя атмосферы. На основе фактических данных о загрязнении воздуха в зоне дыхания осуществляется мониторинг доз облучения персонала и населения, ожидаемых в результате ингаляционного поступления радионуклидов [1, 2].

Так, пробы радиоактивных аэрозолей были отобраны 14 июня 2015 года во время ликвидации пожара в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике [1]. За несколько часов прокачки загрязнённого воздуха через фильтры в зоне дыхания участников пожаротушения в 300 м от кромки огня около бывшего населённого пункта Кожушки сотрудникам Института радиологии удалось собрать активности  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{238+239+240}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  выше МДА (минимально детектируемых активностей).

Проведён гамма-спектрометрический анализ фильтров, после озоления - радиохимическое выделение  $^{90}\text{Sr}$  и трансурановых элементов с последующим электроосаждением и альфа-спектрометрическим окончанием [3]. Результаты расчёта объёмных активностей указанных радионуклидов в приземном слое атмосферы, усреднённых за время отбора проб, приведены в Таблице 1. Содержание плутония-241 не анализировалось и определялось позже расчетным методом, предложенным В.А. Кашпаровым, по известному соотношению изотопов плутония в аварийном выбросе Чернобыльской АЭС с учётом их распада в поставарийный период. Принималось, что в настоящее время соотношение между активностями  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Pu}$  приблизительно 1:2:40 [4]. При оценке содержания  $^{241}\text{Pu}$  учитывались значительные погрешности измерений  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ , близкие к 100%.

Таблица 1 - объёмные активности радионуклидов в зоне дыхания участников пожаротушения 14 июня 2015 года

Радионуклид	Средневзвешенная активность, $Bк \cdot м^{-3}$
$^{137}Cs$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
$^{238}Pu$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
$^{239+240}Pu$	$8,0 \cdot 10^{-5}$
$^{241}Pu$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
$^{241}Am$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
$^{90}Sr$	$4,0 \cdot 10^{-2}$

Величины осаждённых на фильтр активностей находились на уровне МДА. Использовать более производительные пробоотборники для повышения точности измерений не представлялось возможным в связи с их отсутствием в Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь. Для научных целей рекомендуется использовать более мощное воздуходувное оборудование. Так, представительные образцы пыли были отобраны Белгидрометом при проведении сельскохозяйственных операций на экспериментальных участках заповедника [5, 6] и при демаркации белорусско-украинской границы в зоне отчуждения [7] с применением одновременно четырёх импакторов типа Н-810, в 25 раз более производительных, чем имеющийся в Институте радиологии. Кроме того, при пожарах нужна не только оперативность отбора проб, но и надёжные средства доставки оборудования в район пожара, портативные электрогенераторы.

По объёмным активностям радионуклидов оценены ожидаемые дозы внутреннего облучения персонала и участвовавшего в тушении пожара населения, которые сформируются в результате распада радионуклидов, попавших ингаляционным путём в организм. Применялись дозовые коэффициенты для работников [8 - 10], учитывающие процессы метаболизма радионуклидов в организме реципиента, интенсивность дыхания при тяжёлых нагрузках и продолжительность тушения пожара. Консервативно учитывался тип растворимости частиц: для трансурановых – «М», для  $^{90}Sr$  – «S» и для  $^{137}Cs$  – «F» [9]. Предварительные результаты мониторинга доз во время масштабного лесного пожара приведены в Таблице 2.

Оценки ожидаемых доз внутреннего облучения участников пожаротушения соответствуют поступлению радионуклидов за 40 часов ликвидации пожара в районе бывшего н.п. Кожушки при расположении реципиента в 300 м от кромки огня. При пожаре на территории, удалённой на 45 км от Чернобыльской АЭС, ингаляционная составляющая дозы жителей прилегающих к заповеднику населённых пунктов не должна превысить установленные дозовые пределы.

Таблица 2 - ожидаемые дозы облучения участников пожаротушения, обусловленные ингаляционным поступлением радионуклидов в 2015 году

Радионуклид	Дозовый коэффициент, Зв/Бк	Интенсивность дыхания, куб.м/час	Ожидаемая доза, мкЗв	Вклад в ингаляционную дозу, %
$^{137}\text{Cs}$	$6,7 \cdot 10^{-8}$	4,2	0,02	1
$^{238}\text{Pu}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$		0,07	3
$^{239+240}\text{Pu}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$		0,63	26
$^{241}\text{Pu}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$		0,09	3
$^{241}\text{Am}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$		0,66	26
$^{90}\text{Sr}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$		1,01	41
Всего			<b>2,48</b>	<b>100</b>

При пожарах на территории заповедника основной вклад в дозу при ингаляционном поступлении формируют трансурановые элементы - америций-241 и изотопы плутония (58%). В таблице 2 впервые приводятся данные о вкладе  $^{241}\text{Pu}$  в дозу облучения населения Беларуси.

Вклад  $\beta$ -излучателя  $^{90}\text{Sr}$  ( $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$ ) в ингаляционную составляющую дозы также значителен (41%). Следует отметить, что пожар на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в 2015 году был верховым, горели кроны деревьев, верхний слой коры и травяного покрова. Основной запас радионуклидов, расположенный в почве и подстилке леса, был практически не тронут. Установлено, что на территории заповедника и прилегающей в нему территории, несмотря на значительно большую плотность загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$  по сравнению со  $^{90}\text{Sr}$ , последний преобладает как в золе [11], так и в растениях [12]. Поэтому существенный вклад  $^{90}\text{Sr}$  в ожидаемую ингаляционную дозу объясняется не только его большей опасностью, отражённой в более высоких дозовых коэффициентах, но и его более высокой доступностью для корневой системы растений.

Дозы облучения населения от ингаляционного поступления радионуклидов во время масштабного пожара 2015 года не превысят 1 мкЗв. При оценке доз облучения населения исследование проводилось методом математического моделирования [2], в качестве значений параметров математической модели, описывающих подъём радионуклидов, применены результаты эксперимента на Украине [4].

В 2015 году горел, в основном, хвойный лес на территории с плотностью загрязнения альфа-излучающими трансурановыми элементами порядка  $0,1 \text{ Ки/км}^2$ . Однако есть на территории заповедника пожароопасные участки, в 100 раз более загрязнённые изотопами плутония и америцием. В случае пожара на территории, наиболее загрязненной америцием-241 и изотопами плутония, например, вблизи научно-исследовательской станции «Масаны», дозы облучения персонала, обусловленные ингаляционным

поступлением радионуклидов, могут достигнуть уровня доз от внешнего облучения цезием-137, находящимся в почве. Кроме того, если приведённые данные относятся к верховому пожару, когда основным горючим материалом являлись иголки сосны, то при луговых и торфяных пожарах происходит возгонка основного запаса радионуклидов, расположенного в лесной подстилке и верхнем слое торфа. Риски при пожаротушении на таких участках возрастают ещё в несколько раз.

Проведённые исследования показали, что необходимы более глубокие исследования подъёма топливных частиц во время пожаров в почвенно-климатических и ландшафтных условиях, характерных для Белорусского Полесья, особенно – при пожарах на торфяниках. Требуют оценки растворимости и дисперсный состав частиц (распределение активности частиц по их размерам), образующихся в результате горения. Эти факторы оказывают существенное влияние на поступление и метаболизм радионуклидов в организме, радиационные риски персонала и населения.

Радиохимический анализ объектов окружающей среды на содержание трансурановых элементов весьма затратен как для Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, так и его украинских коллег. Поэтому указанные исследования предложено проводить в рамках проекта технической помощи МАГАТЭ. В рамках проекта планируется отбор проб аэрозолей во время пожаров, радиохимическое выделение, альфа- и гамма- спектрометрические измерения, интерпретация результатов измерений с целью оценки эффективного диаметра частиц, исследование растворимости частиц *in-vitro* в растворах, имитирующих лёгкие, или *in-vivo* на животных.

Но кроме технических проблем остаются известные методологические пробелы в области дозиметрии респираторного тракта и других отделов лёгких. Необходимо проверить применимость стандартной дозиметрической модели для случаев осаждения горячих частиц в различных разделах и тканях лёгких. На национальном уровне данную проблему не решить. Например, в Республике Беларусь не утверждены дозовые коэффициенты для персонала в случае ингаляционного поступления изотопов плутония [10]. Международные рекомендации также имеют статус рабочего, т.е. неофициального документа [8].

Население как прилегающей территории, так и всей республики, сопредельных стран весьма остро воспринимает такие чрезвычайные ситуации. Население требует информации об уровнях загрязнения воздуха, дозах облучения и радиационных рисках.

Пожар 2015 года показал, что дополнительное загрязнение территорий, прилегающих к Полесскому государственному радиационно-экологическому заповеднику, в результате пожаров в зонах отчуждения и отселения незначительно. Во время пожаров не установлено превышений мощности эквивалентной дозы от внешнего гамма-излучения над средними уровнями многолетних наблюдений. Вклад в дозу внешнего облучения радионуклидов,

как осевших на почву в 2015 году, так и присутствовавших в радиоактивном облаке во время пожара, составляет доли процента от фоновых значений (многолетних наблюдений), т.е. много меньше погрешности современных дозиметров и не может быть установлен инструментальными методами. По таким же причинам утверждённые в установленном порядке методы испытаний других (не воздуха) объектов окружающей среды, определения плотности загрязнения почвы и других поверхностей также не позволяют оценить динамику их контаминации в результате пожаров.

Однако дополнительные уровни загрязнения радионуклидами приземного слоя атмосферы во время пожаров измеримы и ожидаемая коллективная доза облучения населения (чел·Зв) может быть достаточно высокой. Если проинтегрировать поднявшуюся в результате пожара активность радионуклидов по площади пожара 2015 года, суммарный выброс достигнет 150 ГБк, таблица 3. Большие периоды полураспада трансурановых элементов включают в облучение будущие поколения.

Таблица 3 – конвективный подъём радионуклидов в результате пожара в Полесском государственном радиационно-гигиеническом заповеднике в 2015 (площадь образовавшейся гари – 2200 га)

Радионуклид	Период полураспада	Плотность загрязнения, Ки·км <sup>-2</sup>	Выброс, ГБк
<sup>238</sup> Pu	87,7 года	0,03	0,24
<sup>239</sup> Pu	24100 лет	0,06	0,49
<sup>240</sup> Pu	6540 лет		
<sup>241</sup> Pu	14,4 года	1,2	9,8
<sup>241</sup> Am	432 года	0,1	0,81
<sup>90</sup> Sr	29,1 года	2	16
<sup>137</sup> Cs	30,0 года	15	122
Итого:			150

По Международной шкале ядерных событий (INES) разработанной МАГАТЭ в 1988 г для объектов, использующих атомную энергию (АЭС), такие выбросы соответствуют, как минимум, 3 уровню радиационной опасности («серьёзный инцидент») или 4 (с выбросом радионуклидов за пределы охраняемой территории). Поэтому природные пожары в зонах отчуждения и отселения необходимо классифицировать как радиационные аварии. Такой подход позволит привлечь внимание специалистов и общественности к существующей проблеме, получить финансирование на надлежащую охрану радиационно-опасного объекта – Полесского государственного радиационно-экологического заповедника и сопряжённой территории на Украине. Приравнивание пожаров к радиационным авариям на АЭС позволит применять к чрезвычайным ситуациям природного

характера в зонах отчуждения предприятий ядерного топливного цикла отработанную методологию аварийного реагирования.

Предлагается плановые ежегодные учения по проверке готовности к пожароопасному сезону проводить в рамках международных проектов с участием ОБСЕ в пограничной зоне совместно с организацией Украины, управляющей пожарами на сопредельной территории, с целью отработки взаимодействия при трансграничном переносе фронта пожара и/или продуктов горения. Совместный характер учений позволит разработать единые планы проведения учений и другие необходимые документы, приобрести унифицированные средства связи и современные индивидуальные средства защиты органов дыхания, а также отработать новые эффективные технологии обнаружения и пожаротушения.

Как и у любых радиационных аварий, после пожаров необходима ликвидация их последствий. Например, на территории заповедника при уборке сгоревшего леса и других лесотехнических операциях радионуклиды поднимаются с почвы в зону дыхания в результате механического воздействия. В заповеднике площадь гари составляет более 2 тысяч гектаров. Лесотехнические операции создают риски переоблучения персонала сверх установленных дозовых пределов.

В соответствии с международными рекомендациями и требованиями национальных нормативных актов, значения ожидаемых доз облучения, обусловленных ингаляционным поступлением радионуклидов, могут быть оценены только после исследования подъёма радиоактивных частиц при указанных операциях, а также оценки их эффективного диаметра и растворимости в лёгких человека. Уже выделены средства на приобретение спецтехники. Научное сопровождение работ в части оценки и обеспечения радиационной безопасности работников может осуществляться совместно с Украиной в рамках международных проектов.

### Литература

1. Буздалкин К.Н. Мониторинг ожидаемых доз облучения спасателей в случаях пожаров на территории радиоактивного загрязнения / К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова, А.Б. Кухтевич // Научно-практический рецензируемый журнал «Чрезвычайные ситуации: образование и наука». – Гомель: ГУО «ГИИ», 2015. – Т.10(2). – С.61-64.

2. Бортновский В.Н. Гигиеническая оценка ингаляционного поступления радионуклидов в результате пожаров в Гомельской области / В.Н. Бортновский, А.М. Буздалкина, К.Н. Буздалкин // Проблемы здоровья и экологии – 2016. - Т.1(47). – С. 75-78.

3. Методика определения удельных активностей  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  в биологических объектах альфа-спектрометрическим методом с использованием ионообменного и экстракционно-хроматографического материала и получением счетного образца электроосаждением : МВИ.МН

4486–2012 : утв. Ин-том радиологии 11.2012, согл. Белорус. гос. ин-том метрологии 06.11.2012.

4. Й. Голдаммер, В. Кашпаров, С. Зибцев, С. Робинсон. Передовой опыт и рекомендации по борьбе с природными пожарами на территориях с радионуклидным загрязнением // Глобальный центр мониторинга пожаров, Украинский НИИ сельскохозяйственной радиологии, Национальный Университет биоресурсов и природопользования Украины, Региональный восточноевропейский центр пирологического мониторинга, «Зеленый крест» Швейцарии». – Фрайбург – Базель – Киев – 2014. – 48 с.

5. А.Г. Подоляк, С.А. Тагай, В.С. Аверин, К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова. Дозы облучения работников при проведении сельскохозяйственных операций на загрязненной радионуклидами ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{238,239+240}\text{Pu}$ ) территории // Бюллетень национального радиационно-эпидемиологического регистра «Радиация и риск». – Москва, 2014 – Том 23(2). – С.85–94.

6. В.С. Аверин, А.Г. Подоляк, С.А. Тагай, А.Б. Кухтевич, К.Н. Буздалкин, А.А. Царенок, Е.К. Нилова. Америций и плутоний в агроэкосистемах. Чернобыльская катастрофа 1986 года // Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии». Мн., 2014. – 176 с. – 200 экз. – ISBN 978-985-7012-49-7.

7. К.Н. Буздалкин, О.М. Жукова. Подъём радионуклидов при демаркации границы в зоне отчуждения ЧАЭС: объемная активность и ожидаемые дозы внутреннего облучения работников // Материалы научно-практической конференции «Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: последствия и пути преодоления», Обнинск, 19-21 апреля 2016 г. / ФГБУ «НПО «Тайфун». – Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». – 2016. – С. 21.

8. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards: general safety requirements. Interim edition. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011. 303 p.

9. Требования к радиационной безопасности: Санитарные нормы и правила: утв. постановлением Минист. Здравохр. Респ. Беларусь, 28 дек. 2012 г, № 213 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2013. – 8/26850.

10. Критерии оценки радиационного воздействия: Гигиенический норматив, утвержд. постановлением Мин. здрав. Респ. Беларусь, 28 дек. 2012 г. № 213 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2013. – 2/26850

11. Буздалкин К.Н. Загрязнение сельскохозяйственных земель  $^{90}\text{Sr}$  в результате внесения древесной золы в качестве удобрения / К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова // Чернобыль: 30 лет спустя: материалы междунар. науч. конф. (Гомель, 21-22 апр. 2016 г.) – Гомель: Ин-т радиологии, 2016. – С. 294-295.

12. В.С. Аверин, К.Н. Буздалкин, Е.В. Копыльцова, Е.К. Нилова, Э.Н. Цуранков. Ожидаемые дозы внутреннего облучения жителей некоторых населённых пунктов Гомельской области // Научно-практический рецензируемый журнал «Медико-биологические проблемы жизнедеятельности» – 2016. – №1(15). – С.77–81.

## ASSESSMENT OF IMPACT ON THE ENVIRONMENT CAUSED BY FIRES IN EXCLUSION AND RESETTLEMENT ZONES

*Bouzdalkin, C.N.*

In the event of a fire in the Belarusian sector of the 30-km zone of the Chernobyl NPP and the rest territory of Polesky State Radiation-ecological Reserve, the main contribution to the inhalation dose form transuranic elements, americium-241 and isotopes of plutonium (75%). Data on the contribution of  $^{241}\text{Pu}$  in the dose of irradiation of population of Belarus are presented (5% in the case of smoke inhalation). The contribution of the  $\beta$ -emitter  $^{90}\text{Sr}$  ( $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$ ) to inhaled dose component is also significant (22%) and compared with  $^{137}\text{Cs}$  (3%). The total release of radionuclides outside the protected area in 2015 reached 150 GBq. This fact gives reason to equate the fires in the exclusion zones to radiation accidents at nuclear power plants.

УДК 614.876

### ВЫБРОСЫ РАДИОНУКЛИДОВ В АТМОСФЕРУ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА, ЗАГОТОВЛЕННОГО НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*Буздалкин К.Н.<sup>1</sup>, Бортновский В.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,  
г. Хойники, Республика Беларусь;*

<sup>2</sup>*Гомельский государственный медицинский университет»,  
Республика Беларусь*

Один из путей облучения населения обусловлен ингаляционным поступлением радионуклидов с дымом из труб бытовых печей в случае использования топливной древесины, заготовленной на территории радиоактивного загрязнения. Представляет интерес оценить максимально возможные концентрации радионуклидов в зоне дыхания и ожидаемые ингаляционные дозы облучения жителей домов усадебного типа. Полученные консервативные оценки можно сравнить с дозами внешнего облучения тех же жителей, с дозами внутреннего облучения за счёт перорального поступления, а также ожидаемыми дозами облучения, обусловленными ингаляционным поступлением радионуклидов во время пожаров на территории радиоактивного загрязнения [1,2].

Древесина для производства тепловой энергии продолжает широко использоваться на территории радиоактивного загрязнения, несмотря на установку бытовых газовых и электрических котлов в рамках

государственных программ по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. При сгорании дров, заготовленных на территории радиоактивного загрязнения, в приземный слой атмосферы поступают радионуклиды, содержащиеся в биотопливе. Наиболее высокие объёмные концентрации  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{238,239,240,241}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  в зоне дыхания образуются вблизи домов усадебного типа при неблагоприятных категориях устойчивости атмосферы. Причиной является отсутствие фильтрующих устройств в бытовых печах и малая высота дымовых труб.

Исследование проводилось методом математического моделирования. В качестве исходных данных использовались результаты испытаний древесной золы на содержание радионуклидов, проведённых Институтом радиологии [3]. В качестве значений параметров математической модели применены результаты исследований высокотемпературной возгонки при сжигании древесного топлива в отопительных печах [4].

Ожидаемая индивидуальная эффективная доза внутреннего облучения от ингаляционного поступления радионуклидов  $D_{int}(t)$ , Зв, рассчитывалась по формуле:

$$D_{int}(t) = t \cdot v \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot e(g)_i, \quad (1)$$

В выражении (1) доза прямо пропорциональна продолжительности вдыхания загрязнённого воздуха  $t$ , ч, и интенсивности дыхания  $v$ ,  $\text{м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$ . Расчёт производился по техногенным радионуклидам, которые зарегистрированы в топливной древесине,  $n$ . В формуле объёмная активность  $A_i$ ,  $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ , умножалась на соответствующие дозовые коэффициенты для ингаляционного поступления  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Дозовый коэффициент  $e(g)_i$ ,  $\text{Зв} \cdot \text{Бк}^{-1}$ , равен ожидаемой эффективной дозе, обусловленной ингаляционным поступлением  $1 \text{ Бк}$   $i$ -го радионуклида в организм в зависимости от возраста человека, с учетом процессов метаболизма радионуклида в организме, класса растворимости и размера частиц в радиоактивном аэрозоле [5,6].

В топливной древесине, заготовленной вблизи территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, возможно присутствие не только  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , но и трансурановых элементов -  $^{241}\text{Pu}$ ,  $\alpha$ -излучающих  $^{238,239,240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$ . Трансурановые элементы слабо поступают корневым путём из почвы в древесные растения, однако оседают на коре в результате ветрового подъёма и фиксируются. Кора характеризуется большим содержанием минеральных примесей, в том числе почвы. Если количество твёрдых отходов, таких как зола, в биотопливе колеблется от 0,5 весовых процентов (на сухую массу) для опилок из мягких пород древесины, то для коры - до 8 весовых процентов [4].

Для оценки ожидаемых ингаляционных доз облучения жителей при использовании в качестве топлива древесины, заготовленной на территории радиоактивного загрязнения, необходимы данные о возможных концентрациях радионуклидов в зоне дыхания. Фактических замеров

объёмной активности на подворьях в отопительный сезон не проводилось. Поэтому проведён расчёт с применением математических моделей и фактора разбавления.

Золу, образуемую в процессе сжигания биомассы, можно разделить на зольный остаток (подовую золу) и летучую золу (золу уноса).

При внесении подовой золы в почву участок дополнительно загрязняется радионуклидами, что приводит к росту уровней загрязнения возделываемых на приусадебном участке культур и далее, дополнительному внутреннему облучению жителей за счёт перорального поступления «зольных» радионуклидов с пищевыми продуктами домашнего производства [3]. Поэтому использовать золу в качестве удобрения не рекомендуется.

Фракция летучей золы формирует ингаляционную составляющую дозы облучения населения. Зола уноса включает крупную и мелкую части. Крупная фракция состоит из частиц размером более микрона и образуется в результате их теплового конвективного подъёма с поверхности горящего топлива. Аэрозоли с частицами диаметром менее 1 мкм, которые также могут включать  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{238,239,240,241}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$ , образуются в результате выделения из топлива соединений в газовой фазе. Образование радиоактивных аэрозольных частиц происходит в результате охлаждения топочного газа и последующей конденсацией паров на существующих поверхностях. Аэрозольные частицы диаметром несколько нанометров после образования коагулируют друг с другом или с частицами более крупной фракции уноса.

Различия в процессах образования крупных частиц золы уноса и аэрозолей приводят к тому, что содержание радионуклидов в различных респираторных фракциях и растворимость их соединений при попадании в дыхательный тракт человека могут быть различными. Поэтому ожидаемые дозы облучения от ингаляционного поступления этих групп радионуклидов корректнее оценивать отдельно. Однако так как эффективный диаметр и класс растворимости частиц радиоактивных аэрозолей неизвестны, то консервативно принимались максимальные значения дозовых коэффициентов [5, 6].

В работе [4] установлено, что при отсутствии в печах циклонов и фильтров тонкой очистки зола уноса при сжигании древесной щепы может составлять до 40% от общего количества золы. А при сжигании опилок – до 80%. Поэтому в консервативной оценке принималось, что доля радионуклидов, поступающих в атмосферу при сжигании древесного топлива в бытовых печах, может достигать 40% от их запаса в дровах.

В наиболее загрязнённых южных районах Гомельской области удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в золе из топливной древесины достигает  $50 \text{ кБк кг}^{-1}$  [3]. Уровни загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  принимались в несколько раз ниже, так как его содержание в топливной древесине, в отличие от  $^{90}\text{Sr}$ , нормируется и контролируется. Верхней границей по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  в золе для оценки принят уровень радиоактивных отходов -  $10 \text{ кБк кг}^{-1}$ . Однако следует

отметить, что из-за несовершенства критериев нормирования уровни загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  могут быть и выше. Содержание трансурановых элементов  $^{238+239+240+241}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  не известно и не нормируется. Поэтому принималось, что в течение одной протопки печи в атмосферу может поступать до 200 кБк  $^{90}\text{Sr}$  и 40 кБк  $^{137}\text{Cs}$  с объёмными активностями, соответственно,  $2 \text{ кБк м}^{-3}$  и  $0.4 \text{ кБк м}^{-3}$ .

Фактор разбавления объёмной активности воздуха в результате рассеяния радиоактивной примеси на расстоянии 10 м от вылета (от выходного отверстия печной трубы) при неблагоприятной категории устойчивости атмосферы  $F$  принимался равным  $10^{-2}$  (концентрация радионуклидов на данном расстоянии от источника равна 1/100 от исходной над дымовой трубой). Поэтому в зоне дыхания реципиента, находящегося на приусадебном участке, объёмная активность  $^{90}\text{Sr}$  принималась равной  $20 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ , а активность  $^{137}\text{Cs}$  -  $4 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Время нахождения жителя в облаке дыма консервативно принималось полчаса в день, т.е. объём вдыхаемого загрязнённого воздуха за отопительный период –  $80 \text{ м}^3$  (согласно действующим «Критериям оценки радиационного воздействия» [6], годовой объём вдыхаемого воздуха для возрастной группы «взрослые» составляет  $8100 \text{ м}^3$ ).

Использование в формуле (1) приведённых выше оценок объёмной активности и годового объёма вдыхаемого воздуха показало, что дозы облучения населения, обусловленные ингаляцией печного дыма, содержащего  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , в течение одного отопительного сезона, могут достигнуть 0,3 мЗв. Основной вклад (96%) в ожидаемую дозу облучения вносит  $^{90}\text{Sr}$  (при отсутствии в дровах трансурановых элементов и содержании  $^{137}\text{Cs}$  в пределах установленных допустимых уровней).

Ожидаемая доза облучения от ингаляционного поступления радионуклидов с дымом печных труб на порядки выше, чем от пожаров на территории зоны отчуждения [1]. Абсолютные значения доз от данного пути облучения не превышают установленного законодательством годового предела облучения (1 мЗв, [6]), но могут достигать уровней, сравнимых с дозами внешнего облучения от чернобыльских выпадений и дозами внутреннего облучения от потребления загрязнённых продуктов питания, произведённых на тех же приусадебных участках.

### Литература

1. Бортновский В.Н. Гигиеническая оценка ингаляционного поступления радионуклидов в результате пожаров в Гомельской области / В.Н. Бортновский, А.М. Буздалкина, К.Н. Буздалкин // Проблемы здоровья и экологии – 2016. - Т.1(47). – С. 75-78.

2. Буздалкин К.Н. Мониторинг ожидаемых доз облучения спасателей в случаях пожаров на территории радиоактивного загрязнения / К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова, А.Б. Кухтевич // Научно-практический рецензируемый журнал «Чрезвычайные ситуации: образование и наука». –

Гомель: ГУО «ГИИ», 2015. – Т.10(2). – С.61-64.

3. Буздалкин К.Н. Загрязнение сельскохозяйственных земель  $^{90}\text{Sr}$  в результате внесения древесной золы в качестве удобрения / К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова // Чернобыль: 30 лет спустя: материалы междунар. науч. конф. (Гомель, 21-22 апр. 2016 г.) – Гомель: Ин-т радиологии, 2016. – С. 294-295.

4. Утилизация золы котельных, работающих на древесном топливе : совместный проект ПРООН/ГЭФ и Правительства Республики Беларусь «Применение биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Республике Беларусь» / ред.-сост. Норберт Вильдбахер. – Мн.: Программа развития ООН (ПРООН), Глобальный экологический фонд (ГЭФ), Департамент по энергоэффективности Государственного Комитета по Стандартизации, 2007. – 28 с.

5. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards: general safety requirements. Interim edition. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011. 303 p.

6. Критерии оценки радиационного воздействия: Гигиенический норматив, утвержд. постановлением Мин. здрав. Респ. Беларусь, 28 дек. 2012 г. № 213 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2013. – 2/26850

**EMISSIONS OF RADIONUCLIDES TO THE ATMOSPHERE  
DURING USE OF FUEL WOOD HARVESTED  
IN THE CONTAMINATED TERRITORY**

*Bouzdalkin C.N., Bortnovsky V.N.*

The maximum expected annual dose of the population of the Gomel region, due to the inhalation of radionuclides from furnace smoke, can reach up to 0.3 mSv. The main part (96%) of the expected radiation dose due to stove smoke are contributed by  $^{90}\text{Sr}$  (in the absence of trans-uranium elements). The expected annual dose from fly ash radionuclides inhalation is much higher than from fires in the Chernobyl exclusion zone. The absolute values of the doses from the exposure pathway do not exceed the legally established limit exposure (1 mSv per year) and are comparable with external doses by the Chernobyl fallout and internal exposure doses from consumption of contaminated food produced on the same private land.

# СОСТОЯНИЕ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*Булко Н.И., Машков И.А., Потапенко А.М., Толкачева Н.В., Козлов А.К.  
Институт леса НАН Беларуси*

## Введение

Значительная доля природно-растительных комплексов Беларуси приходится на лесные фитоценозы [1]. Высокая задерживающая способность лесных экосистем обусловила аккумуляцию в древесном ярусе 60-90% радионуклидов [2]. Следовательно, лесные насаждения играют весьма существенную роль в формировании радиоэкологической обстановки на загрязненных территориях.

Масштабное загрязнение радионуклидами лесных фитоценозов, существенно сказалась на ведении лесного хозяйства, рациональном использовании лесов, их устойчивости. Ограничения на проведение рубок в лесах с плотностью загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  более  $15 \text{ Ки/км}^2$ , привели к накоплению в хвойных лесах, доля которых в этих зонах составляет 57,5%, валежа и сухостоя.

Накопление запасов не используемой древесины привело к захламленности лесных насаждений, потере ими устойчивости, развитию очагов вредителей и болезней и снижению продуктивности.

Лесообразовательные процессы в естественной обстановке идут далеко не всегда в нужном для лесного хозяйства направлении [3].

Радиационные эффекты в подвергшихся радиоактивному загрязнению природных экологических системах зависят от радиочувствительности доминирующих в них видов. К числу самых радиочувствительных видов растений относятся хвойные породы, а экосистем – хвойные леса [4]. В связи с этим, данные лесные фитоценозы представляют собой очень чувствительную к облучению систему; ее разрушение происходит под действием таких относительно небольших доз, которые не вызывают заметных нарушений в фитоценозах других типов, в частности, в сообществах травянистых растений [5].

Таким образом, исследования радиологической обстановки, оценка состояния и устойчивости насаждений хвойных пород длительное время не подвергавшихся антропогенному воздействию, имеет большое научное и практическое значение.

Целью данной работы являлось изучение состояния сосновых насаждений, подвергшихся высокому радиоактивному загрязнению.

## Материалы и методы

Объектами исследований являлись сосновые насаждения.

Для достижения поставленной цели в сосновых насаждениях, выбирался участок в пределах однородных таксационных характеристик, и закладывались пробные площадки  $50 \times 50 \text{ м}$  [6].

Определение однородности по радиоактивному загрязнению производилось путем трехкратного измерения мощности экспозиционной дозы (МД)  $\gamma$ -излучения на высоте 1 м и в 3-4 см от поверхности почвы в 10 точках, равномерно расположенных по территории участка [7].

Пробные участки закладывались в соответствии с общепринятыми методиками исследования лесных биогеоценозов [8, 9].

Для изучения оценки состояния сосновых насаждений, их продуктивности, на пробных площадях всех объектов проводилось выполнение работ согласно [10, 11].

### **Результаты и обсуждение**

Образовавшийся со времён аварии на ЧАЭС, характерный для высокозагрязненных сосняков относительно заповедный режим, позволяет проследить в них динамику последствий радиоактивного облучения в течение длительного времени.

В дочернобыльский период леса Беларуси отличались высоким уровнем ведения лесного хозяйства. Рубки ухода производились регулярно, по установленным периодам, отличались довольно высокой интенсивностью. Вследствие этого из насаждений периодически изымались деревья низших категорий состояния. В итоге, в своем большинстве, особенно сосновые насаждения, имели повышенные индексы состояния.

По исследованиям на контрольных объектах в районе г. Гомеля и г. Мозыря, входивших в систему объектов для мониторинга техногенного загрязнения воздушной среды в лесу и попавших в зону радиоактивного загрязнения, сосновые насаждения характеризуются индексами состояния, позволяющими отнести их либо к категории здоровых, либо к категории ослабленных. При этом существенное значение имел возраст древостоев. Как правило, все древостои сосны II класса возраста относились к категории ослабленные (82%), реже – сильно ослабленные (18%), а древостои сосны III класса возраста оценивались как здоровые (27%) и ослабленные (73%).

По истечении времени санитарное состояние древесного яруса высокозагрязненных сосновых насаждений было оценено по результатам исследований 2016 г. на объектах в зоне последующего отселения Ветковского района.

Установлено, что в сосняках мшистых на исследуемых объектах в зоне радиоактивного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  свыше 15 Ки/км<sup>2</sup> в настоящее время основная масса деревьев сосны относится к 3 и 4-й категориям состояния, т.е. сильно ослабленные и усыхающие (таблица 17).

Оценка санитарного состояния сосновых насаждений различных классов возраста показала, что сосняки, возраст которых на начало исследований составлял 25-35 лет (молодняки II класса), в настоящее время по средним показателям соответствуют категории усыхающие (категория состояния – 4).

Отмечается дефолиация более 1/2 кроны сосны, усыхание ветвей в верхней и средней частях более 50%. Наибольшее распространение в

древостоях имеют сильно ослабленные деревья. Их количество варьирует от 21,6% (от общего количества деревьев сосны) на ПП ВБ2-2, до 66,6% – на ПП ВБ2-1. Следует отметить, что на части пробных площадей (ВБ2-3, ВБ2-2) наблюдается преобладание сухостоя прошлых лет – 39,2% и 47,1% соответственно. Выявлено также 73,3% деревьев сосны на ПП Г3-4, у которых в большей мере отмечалось усыхание 26-30% ветвей. Если рассматривать среднюю категорию санитарного состояния (устойчивости), то в этом классе возраста на трех ПП (Г4-1, Г3-4, ВБ2-1) индекс состояния в 2016 году составлял 3,4-3,7, а на остальных – 4,1-4,8.

Таким образом, жизненное состояние древостоев сосны по средним показателям на объектах в сосняках мшистых II класса возраста характеризуется преобладанием категории состояния – «сильно поврежденные» (сильно ослабленные).

Средний индекс жизненного состояния (ИЖС)

Таблица 17 – Показатели устойчивости сосны обыкновенной на пробных площадях спустя 30 лет после аварии на ЧАЭС

№ ПП	Возраст , лет		Всего деревьев, шт. / %	Категория санитарного состояния						индексы состояния/жизненного состояния
	на момент закладки ПП	на 2016 год		1	2	3	4	5	6	
Г4-1	25	33	88							
			100,0	0,0	0,0	76,1	11,4	4,5	8,0	
Г3-4	25	33	52	-	-	38	4	3	7	3,60
			100,0	0,0	0,0	73,1	7,7	5,8	13,5	29,62
ВБ2-1	31	50	30	-	-	20	5	-	5	3,67
			100,0	0,0	0,0	66,6	16,7	0,0	16,7	27,50
ВБ2-2	31	50	51	-	-	11	11	5	24	4,82
			100,0	0,0	0,0	21,6	21,6	9,8	47,1	9,71
ВБ2-3	31	50	51	-	-	18	11	2	20	4,47
			100,0	0,0	0,0	35,3	21,6	3,9	39,2	15,20
К4-2	35	45	248	-	-	109	64	7	68	4,14
			100,0	0,0	0,0	44,0	25,8	2,8	27,4	18,87
Г-4	40	54	101	-	1	61	12	5	22	3,86
			100,0	0,0	1,0	60,4	11,9	5	21,8	25,45
П4-1	45	65	20	-	-	7	6	-	7	4,35
			100,0	0,0	0,0	35,0	30,0	0,0	35,0	15,50
П4-2	45	65	22	-	-	4	5	3	10	4,86
			100,0	0,0	0,0	18,2	22,7	13,6	45,5	8,41
П4-3	45	65	16	-	-	7	5	-	4	4,06
			100,0	0,0	0,0	43,8	31,3	0,0	25,0	19,06
П4-4	45	65	16	-	-	1	5	-	10	5,19
			100,0	0,0	0,0	6,3	31,3	0,0	62,5	4,06
Пк-1	55	72	80	-	1	34	13	-	32	4,35
			100,0	0,0	1,3	42,5	16,3	0,0	40,0	18,69
Пк-2	55	72	93	-	4	65	2	1	21	3,68
			100,0	0,0	4,3	70,0	2,2	1,1	22,6	31,08
Пк-3	55	72	80	-	-	50	2	2	26	4,05
			100,0	0,0	0,0	62,5	2,5	2,5	32,5	25,13
П2-1	70	92	95	-	12	42	14	2	25	3,85
			100,0	0,0	12,6	44,2	14,7	2,1	26,3	27,26

сосны составляет 21,6%. На большей части ПП средний ИЖС составлял: от 27,5% (ВБ2-1) до 31,0% (Г4-1). На ПП ВБ2-2, ВБ2-3, ВБ2-4 и К4-2 его величина – 9,7-19,4% (рисунок 2).

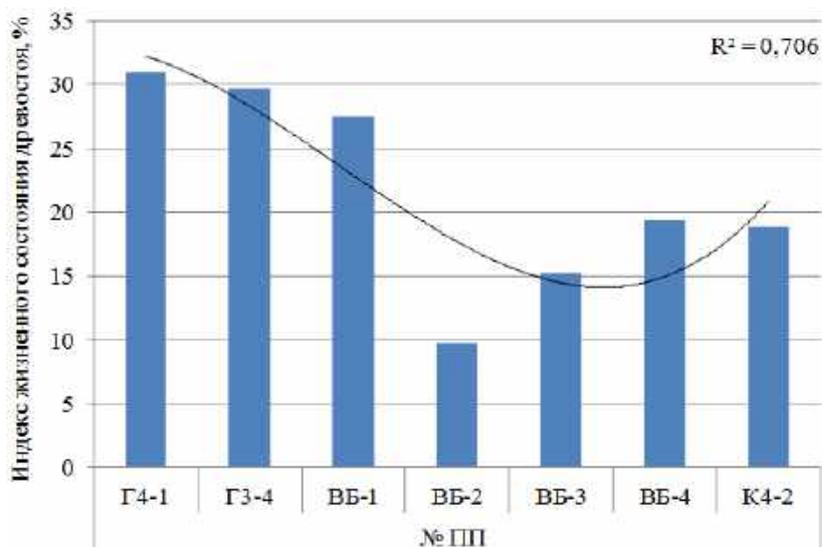


Рисунок 2 – Жизненное состояние сосновых насаждений 25-35-летнего возраста на момент закладки ПП

Сосняки, которые на момент закладки ПП после аварии на ЧАЭС относились к средневозрастным насаждениям III класса возраста, по средним показателям соответствуют к настоящему времени категории усыхающие (индекс состояния – 4,2). Отмечается дефолиация более ½ кроны сосны, усыхание ветвей в верхней и средней частях более 50%. Наибольшее распространение в древостоях имеют деревья 6-й категории (на 41,7% ПП). Их количество варьирует от 32,5% (от общего количества деревьев сосны) на объекте Пк-3 до 62,5% – на объекте П4-4.

Установлено, что на трех ПП преобладают сильно ослабленные деревья с сильным изреживанием кроны. Если рассматривать среднюю категорию санитарного состояния, то на 83% ПП индекс состояния в 2016 году составлял 3,7-4,4, а на остальных – 4,9-5,2.

Жизненное состояние древостоев сосны по средним показателям на пробных площадях характеризуется категорией сильно поврежденные (сильно ослабленные). Средний ИЖС сосны составляет 20,6%. Стоит отметить, что древостои на 50% ПП имеют средний индекс жизненного состояния от 25,1% до 31,1% а 50% – имеют очень низкий ИЖС ( $\leq 20$ ).

Сосняки, которые на момент закладки объектов имели возраст 60-80 лет (средневозрастные насаждения IV класса возраста) в настоящее время по средним показателям соответствуют категории сильно ослабленные (индекс состояния – 3,4). Наибольшее распространение в древостоях имеют деревья категории сильно ослабленные. Их количество варьирует от 42% до 67%

Следует отметить, что на части объектов выявлено преобладание ослабленных деревьев – до 63,5%. На ПП П2-1 были отмечены деревья

сосны, характеризующихся наличием большого количества сухостоя. Если рассматривать средний индекс санитарного состояния древостоя, то на 62% ПП он в насаждениях сосны IV класса возраста в 2016 году составлял 2,9-3,4, а на остальных – 3,5-3,9.

### **Заключение**

Таким образом, сопоставляя полученные в 2016 году результаты оценки состояния сосновых насаждений на объектах, заложенных в первые десятилетия после аварии на ЧАЭС, с результатами оценки состояния сосновых насаждений на первых этапах их развития после аварии, можно констатировать, что к настоящему времени их состояние существенно ухудшилось, насаждения сильно ослаблены, особенно насаждения II-III классов возраста.

### **Литература**

- 1 Растительный покров Беларуси / Под. ред. И.Д. Юркевич, В.С. Гельтман. – Мн.: Наука и техника, 1969. – 176 с.
- 2 Sokolov, V.E. Effect of Radioactive Contamination on the Flora and Fauna in the Vicinity of Chernobyl' Nuclear Power Plant / V.E. Sokolov [et al] // *Physiology and General Biology Reviews*. – 1994. – Vol. 8, № 2. – P. 1-124.
- 3 Антонов, А.М. Сравнение показателей макроструктуры древесины сосны естественных и искусственных насаждений / Антонов А.М. // *Экологические проблемы Севера*. – Вып. № 10. – Архангельск, 2007. – С. 15-16.
- 4 Гераськин, С.А. Воздействие аварийного выброса Чернобыльской АЭС на биоту / С.А. Гераськин, С.В. Фесенко, Р.М. Алексахин // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2006. – Т. 46. – № 2. – С. 213-224.
- 5 Тихомиров, Ф.А. Действие ионизирующих излучений на лесные биогеоценозы / Ф.А. Тихомиров, Р.М. Алексахин // *Современные проблемы радиобиологии. Радиоэкология*. – М.: Атомиздат, 1971. – Т. 2. – С. 228-260.
- 6 ТКП 240-2010 (02080). Радиационный контроль. Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения. – Мн., 2010. – 18 с.
- 7 ТКП 251-2010 (02080). Радиационный контроль. Отбор и подготовка проб лесной продукции. Порядок проведения. – Мн., 2010. – 25 с.
- 8 Василевич, В.И. Статистические методы в геоботанике / В.И. Василевич. – Л.: Наука, 1969. – 232 с.
- 9 Программа и методика биогеоценологических исследований / Под ред. Н.В. Дылиса. – М.: «Наука», 1974, – 403 с.
- 10 ТКП 026-2006 (02080) Санитарные правила в лесах Республики Беларусь. – Минск: МЛХ РБ, 2006. – 47 с.
- 11 Жилкин, Б.Д. Классификация деревьев по продуктивности (опыт разработки и применения классификации деревьев по продуктивности в однородных одновозрастных древостоях) / Б.Д. Жилкин. – Москва: Лесная промышленность, 1965. – 108.

## ВЕДЕНИЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВА НА ТЕРРИТОРИЯХ ЗАГРЯЗНЕННЫХ <sup>137</sup>Cs

*В.В. Валетов, Е.И. Дегтярева*

Учреждение образования «Мозырский государственный педагогический университет им. И.П. Шамякина», г. Мозырь, Беларусь

Учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Беларусь

В большинстве ситуаций, связанных с выбросом радионуклидов в окружающую среду, основные проблемы обеспечения радиационной безопасности обусловлены поиском путей выведения радионуклидов из биологических цепей миграции. Как показывают многочисленные экспериментальные исследования, а также различные расчетные данные, для большинства радиологических ситуаций характерно поступление радионуклидов в организм человека с продуктами питания. Продукция животноводства – молоко и мясо, один из основных источников формирования дозы внутреннего облучения населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях.

Проблема поступления <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr с сельскохозяйственной продукцией в организм человека является регулируемой и управляемой. В настоящее время в сельском хозяйстве используется система агротехнических и агрохимических мероприятий, позволяющих получать растениеводческую продукцию, соответствующую радиологическим нормативам.

Наши исследования дополняют имеющиеся результаты по оптимизации получения нормативно чистой продукции животноводства и растениеводства.

### Методика исследования

Натурные исследования проводились на клинически здоровом крупном рогатом скоте черно-пестрой породы. Группы животных формировались по принципу аналогов. Учет поедаемости кормов и молочной продуктивности проводился по общепринятым зоотехническим методам. Рационы кормления анализировались по питательности. Экспериментальные работы проводились во время стойлового содержания животных.

Коэффициент перехода радионуклидов в цепи корм – кровь определяли как отношение активности в корме ( $A_{\text{корма}}$ ) к активности во всей крови ( $A_{\text{кровь}}$ ):

$$КП_{\text{корм-кровь}} = \frac{UA_{\text{кровь}}}{UA_{\text{корма}}} \quad (1),$$

где:

$КП_{\text{корм-кровь}}$  – коэффициент перехода радионуклида в цепи корм – кровь;

$UA_{\text{корма}}$  – удельная активность корма [Бк/кг];

$UA_{\text{кровь}}$  – удельная активность крови [Бк/л].

Для количественной оценки поступления радионуклидов из почвы в растения рассчитывали коэффициенты перехода (КП) по следующей формуле:

$$КП = УА_{растений} / П \quad (2),$$

где:

КП – коэффициент перехода радионуклида для сена, зеленой массы и др.;

УА – удельная активность радионуклида в сене, зеленой массе и др. [Бк/кг];

П – плотность загрязнения почвы [кБк/м<sup>2</sup>].

Статистическая обработка результатов исследований проводилась с использованием пакета статистических программ "Statistica". Гамма-спектрометрию проб проводили на комплексах: TENNELEC и CANBERA производства США с полупроводниковыми коаксиальными диффузионно-дрейфовыми детекторами из сверхчистого германия.

### **Результаты исследования и обсуждение**

Сложившаяся после катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции радиационная обстановка в Республике Беларусь обусловлена загрязнением территории радионуклидами, и специфическими условиями Белорусского Полесья, определяющими высокую степень перехода <sup>137</sup>Cs в цепи почва – растения. В частности, на загрязненной территории повышенная миграция радионуклида в указанной цепи приурочена к местности, где кормовые сельскохозяйственные земли (сенокосы) расположены преимущественно на торфяно-болотных сильно увлажненных почвах. Одной из причин поступления <sup>137</sup>Cs из почв данного типа в растительность является слабая фиксация радионуклида почвой, что обусловлено их своеобразным минералогическим составом. В сельскохозяйственном использовании, почвы претерпели ряд изменений: модифицировались их водно-физические, агрохимические и биохимические свойства. Сегодня эти почвы представлены сложными природно-техногенными комплексами, в которых торфяно-болотные почвы чередуются с возникшими ареалами антропогенно-преобразованных почв разной степени трансформации (вплоть до песчаных), отличающихся между собой как потенциальным плодородием, так и технологическими свойствами. Кроме того, они различаются между собой и водным режимом (от подтапливаемых участков в низовьях систем до осушенных в верховьях). По уровню содержания органического вещества, водно-физическим и агрохимическим свойствам эти почвы значительно отличаются как от торфяно-болотных почв в первые годы после осушения, так и от типично минеральных. В результате этого формируются новые почвенные разновидности (торфяно-минеральные, минеральные остаточно-торфяные и постторфяные) [1]. Для прогноза уровня загрязнения основных сельскохозяйственных культур <sup>137</sup>Cs в организациях, в составе сельскохозяйственных земель которых преобладают торфяно-болотные почвы, и заблаговременного определения характера их использования, разработаны усредненные коэффициенты поступления <sup>137</sup>Cs в урожай сельскохозяйственных культур. Средние значения КП <sup>137</sup>Cs

дифференцированы в зависимости от содержания подвижного калия в почве, мощности торфяного слоя и видовой принадлежности растений (таблица 1).

Таблица 1 – Средние значения коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  для торфяно-болотных почв Республики Беларусь [1]

Культура	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы			
	<200	201-400	401-600	601-1000
<b>Мощность торфяного слоя менее 1 м</b>				
<b>Зерно (влажность 14%)</b>				
Овес	0,9	0,7	0,6	0,5
Ячмень	0,7	0,6	0,5	0,3
Пшеница яровая	0,7	0,5	0,4	0,3
Рожь озимая	0,4	0,2	0,1	0,04
Тритикале озимое	0,7	0,5	0,4	0,3
Тритикале яровое	0,5	0,3	0,2	0,1
Культура	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы			
	<200	201-400	401-600	601-1000
<b>Сено (влажность 16%)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	10,2	7,3	4,8	2,5
Сеяный многолетний злаковый	7,6	3,9	2,6	1,8
Сеяный многолетний бобово-злаковый	2,7	1,9	1,3	–
<b>Сенаж (влажность 55%)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	5,5	3,9	2,6	1,3
Сеяный многолетний злаковый	4,1	2,1	1,4	1,0
Сеяный многолетний бобово-злаковый	1,4	1,0	0,7	–
<b>Силос (влажность 75%)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	3,0	2,2	1,4	0,7
Сеяный многолетний злаковый	2,3	1,7	0,8	0,5
Сеяный многолетний бобово-злаковый	0,8	0,7	0,4	–
<b>Зеленая масса (влажность 82%)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	2,2	1,6	1,0	0,5
Сеяный многолетний злаковый	1,6	0,8	0,6	0,4
Сеяный многолетний бобово-злаковый	0,6	0,4	0,3	–
<b>Мощность торфяного слоя более 1 м</b>				
<b>Сено (влажность 16%)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	22	19	12	7
Сеяный многолетний злаковый	4,8	1,8	0,6	0,4
<b>Сенаж (влажность 55%)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	12	9,9	6,3	3,7
Сеяный многолетний злаковый	2,6	0,94	0,3	0,2
<b>Силос (влажность 75%)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	6,4	5,5	3,5	2,1
Сеяный многолетний злаковый	1,4	0,5	0,2	0,1
<b>Зеленая масса (влажность 82%)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	4,6	4,0	2,5	1,5
Сеяный многолетний злаковый	1,0	0,4	0,13	0,08

В таблице 1 показано, что с увеличением содержания подвижного калия в торфяно-болотной почве уменьшается поступление  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственные культуры. Значения КП  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в зерновые культуры меньше, чем в многолетние злаковые травы. Среди зерновых культур можно выделить рожь озимую и тритикале яровое у которых коэффициент перехода радионуклида самый низкий. В таблице 1 прослеживается тенденция влияния мощности торфяного слоя на уровень

перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы как в сеянный, так и естественный многолетний травостой. Торфяно-болотные почвы с мощностью торфяного слоя более 1 м характеризуются повышенными значениями КП  $^{137}\text{Cs}$  для трав, а с мощностью торфяного слоя менее 1 м – пониженными значениями поступления радионуклида в травы.

Одним из распространенных приемов снижения поступления  $^{137}\text{Cs}$ , а также  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческую продукцию является оптимизация структуры посевных площадей, основанная на адаптации сельскохозяйственных растений к почвенно-гидрологическим условиям торфяно-болотных почв. Это позволяет увеличить вес культур и их сортов с меньшим уровнем накопления радионуклидов, а также продуктивность земель при снижении себестоимости производства кормов. В рекомендациях по оптимизации структуры посевных площадей в сельскохозяйственных организациях с высоким удельным весом торфяных почв, загрязненных радионуклидами, впервые для торфяно-болотных почв различных стадий трансформации предложены наборы видового состава сельскохозяйственных культур, дифференцированные в зависимости от уровня грунтовых вод и содержания органического вещества в почве. Правильное чередование сельскохозяйственных культур, характеризующихся меньшим накоплением радионуклидов, позволяет более полно использовать их потенциальные биологические возможности, сохранять плодородие лабильных торфяно-болотных почв различных стадий трансформации, повысить эффективность агротехнических приемов, что в комплексе приведет к росту урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животноводческой продукции [1].

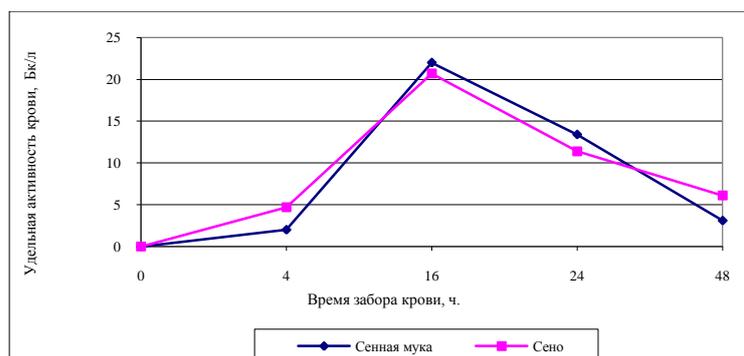
Основным источником поступления  $^{137}\text{Cs}$  в организм сельскохозяйственных животных является сено многолетних трав и зеленая масса травы с некультурных сенокосов и пастбищ. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в растениях относится к основным показателям безопасности корма. В ходе проведенных лабораторных опытов нами установлено что: механическое измельчение сена приводит к увеличению экстрагируемости из него  $^{137}\text{Cs}$ .

Для изучения закономерностей перехода  $^{137}\text{Cs}$  из лигнинсодержащих кормов в рубцовую жидкость КРС были использованы гастрофистулированные животные. В результате проведенных экспериментов на гастрофистульных животных нами было установлено, что за 2 часа пребывания сена многолетних трав в рубце крупного рогатого скота 96-99 %  $^{137}\text{Cs}$ , находящегося в корме переходит в рубцовую жидкость.

Общее представление о скорости и месте поглощения радионуклида в ЖКТ можно получить путем учета промежутка времени, в течение которого после кормления в крови животных наблюдается максимальная концентрация  $^{137}\text{Cs}$  [2].

В результате проведения натуральных экспериментов нами было установлено, что максимальная концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в крови животных наблюдается на 16 час после поступления нуклида в организм. Это

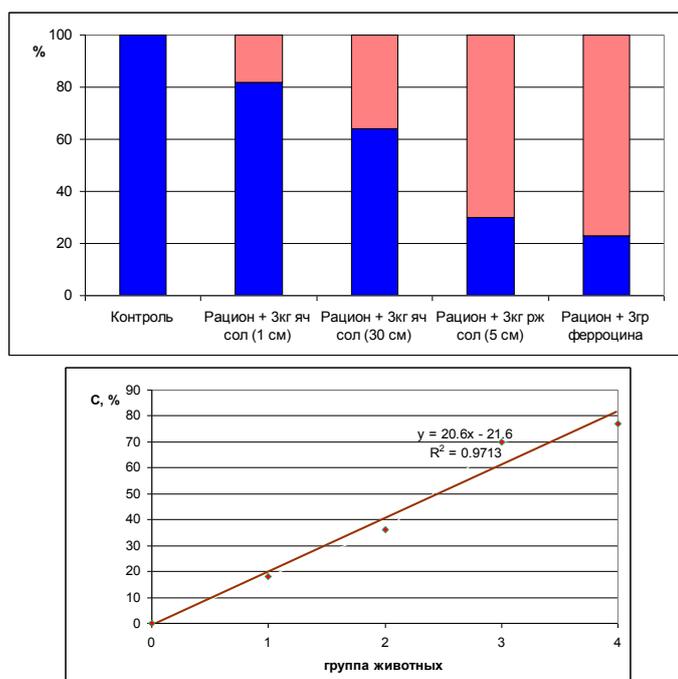
подтверждает то, что  $^{137}\text{Cs}$  из сена многолетних трав и сенной муки утилизируется в рубце (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Переход  $^{137}\text{Cs}$  из корма в кровь крупного рогатого скота**

По расчетным данным доступность  $^{137}\text{Cs}$  из сена многолетних трав для животных составляет 1%, что указывает на частичный переход этого радионуклида из грубых кормов в кровь и молоко животных. В рубце жвачных животных протекают два процесса: выход  $^{137}\text{Cs}$  из корма в рубцовую жидкость и сорбция радионуклида содержимым рубца. При разрушении клетчатки в ней реализуется процесс микрофазного разделения лигнина и гемицеллюлоз, находящихся в состоянии вынужденного смешивания в корме. Это приводит к дополнительной структурной активации клетчатки сена за счет увеличения свободного объема межфазных лигноуглеводных областей. Поэтому клетчатка способна сорбировать на себя  $^{137}\text{Cs}$  из водных сред. Определение коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  методом забора крови и интегрирования кривой скорости накопления  $^{137}\text{Cs}$  в крови позволяет методологически подойти к вопросу определения КП<sub>корм-мясо</sub> при жизни животного. Организм жвачных животных является трансформатором на пути поступления радионуклидов в организм человека, так как, поглощая из суточного рациона около 99 %  $^{137}\text{Cs}$ , в молоко переходит до 1 %.

Одним из направлений в современной радиоэкологии является поиск сорбентов, которые эффективны в различные периоды после радиоактивного выброса в биосферу. Нами было изучено влияние лигнинсодержащих кормов в суточном рационе крупного рогатого скота на снижение удельной активности молока в опытах *in vivo* (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Зависимость снижения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в молоке от содержания в рационе КРС клетчатки и ферроцина**

В ходе исследований установлено, что снижение удельной активности молока зависит от количества лигнифицированной клетчатки в корме, степени его измельчения и перевариваемости.

#### **Заключение**

Чередование сельскохозяйственных культур, характеризующихся меньшим накоплением радионуклидов, позволяет более полно использовать их потенциальные биологические возможности, сохранять плодородие лабильных торфяно-болотных почв различных стадий трансформации. Повышение эффективности агротехнических приемов приведет к росту урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животноводческой продукции

#### **Список литературы**

1. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2011-2015 гг. / В.С. Аверин, А.Г. Подоляк [и др.]; под общ. ред. В.С. Аверина. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2011. – 91 с.
2. Валетов В.В. – Физиологические аспекты кормления сельскохозяйственных животных монография / Валетов, В.В., Дегтярева, Е.И., УО МГПУ им. И.П. Шамякина. – Мозырь, 2013. – 88с.

#### **Agriculture and livestock in areas contaminated with $^{137}\text{Cs}$**

*Valentin Valetov, Helena Degtyarova,*

Correct sequence of crops, characterized by a smaller accumulation of radionuclides, makes better use of their potential biological capacity, to maintain

the fertility of the labile peat soils of different transformation stages, to increase the efficiency of farming practices that in combination lead to increased crop yields and productivity of livestock products. Reduction the specific activity of milk depends upon the degree of digestibility of cellulose.

## **МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ НА ЧАЭС**

*Веялкин И.В., Рожко А.В., Чешик А.А., Захарова О.Н.*

*Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека»,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

26 апреля 2016 года – эта дата 30-летия, самой крупной техногенной катастрофы 20 тысячелетия, аварии на Чернобыльской атомной электростанции. На сегодняшний день, по оценкам международных организаций (ООН, МАГАТЭ) это наиболее масштабная авария в истории гражданской атомной энергетики из всех когда-либо происшедших. Организацией Объединенных Наций принято решение продолжить выполнение мероприятий по минимизации последствий аварии на Чернобыльской АЭС до 2030 года.

Приоритетной задачей системы здравоохранения является снижение риска неблагоприятных последствий для здоровья граждан, повышение качества медицинской помощи для реализации государственных гарантий в области медицинского обеспечения населения, пострадавшего в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС.

В связи с этим продолжался процесс по совершенствованию организации медицинской помощи пострадавшему населению.

Научно обоснованы и выделены группы лиц повышенного радиационного риска (порядок диспансеризации определен Постановлением Министерства здравоохранения №28).

В 2014-2015 годах проведены радиационно-эпидемиологические исследования в группах повышенного радиационного риска с целью выработки предложений по унификации перечня заболеваний, возникновение которых может быть связано с катастрофой на Чернобыльской АЭС (Постановление Министерства здравоохранения №73 от 26.06.2009 г).

Для организации наблюдения за пострадавшим населением в 1993 г. Постановлением Совета министров Республики Беларусь от 5 мая 1993 г. N 283 был организован Белорусский государственный регистр лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС

Всего под диспансерным наблюдением состоит 1 542 623 человек, из них детей 216 598, взрослых 1 280 919.

Основная часть пострадавшего населения проживает в Гомельской области (78%), в Брестской области 10%, Могилевской 8%, Гродненской 2%, Минской области 1%, г. Минске 1%.

Среднегодовая численность пострадавшего населения имеет устойчивую тенденцию к снижению по всем группам первичного учёта, кроме 4 ГПУ, что обусловлено естественной убылью населения, характерной для всей Республики и в незначительной степени – миграцией. На 2016г. среднегодовая численность населения состоящего на учете в Госреестре составила: ГПУ 1 – 52538, ГПУ 2 – 4099, ГПУ 3 – 54581, ГПУ 4 – 20862.

При этом наблюдается постарение пострадавшего населения, что нужно учитывать при оценке его состояния здоровья. Медиана возраста лиц в разрезе групп первичного учёта составляет для: 1 ГПУ - 59 лет, 2 ГПУ – 43 года, 3 ГПУ – 41 год и 4 ГПУ – 17 лет.

На протяжении последних 5 лет отмечается снижение смертности пострадавшего населения и приближение его к республиканскому уровню и незначительный рост рождаемости. Отличие показателей рождаемости и смертности пострадавшего населения от республиканского уровня можно объяснить преобладанием старших возрастных групп среди лиц, пострадавших от аварии.

Смертность является одним из основополагающих показателей, характеризующих качество оказания медицинских услуг. Если учесть возрастные изменения (общее постарение пострадавшего населения), то стандартизованный по возрасту показатель смертности располагается на уровне среднереспубликанского (661,4 на 100 000). У ликвидаторов этот показатель составляет 669,0, у эвакуированного населения – 533,9, у лиц, проживающих на загрязненных территориях (3 ГПУ) – 634,6. Это свидетельствует об эффективности проводимых в стране мероприятий по оказанию медицинской помощи пострадавшему населению.

Структура смертности пострадавшего населения не значительно отличается от республиканской: на первом месте находятся заболевания системы кровообращения (59,5%), на втором месте онкологические заболевания (16,1%), на третьем месте симптомы, признаки, отклонения (9,4%).

Сопоставление динамик показателей общей и первичной заболеваемости у пострадавшего населения показывает, что последние 6 лет наблюдается снижение как общей, так и первичной заболеваемости практически по всем основным классам, за исключением злокачественных заболеваний.

Структура первичной заболеваемости пострадавшего населения не значительно отличается от республиканской: на первом месте находятся заболевания органов дыхания (49,8%), на втором травмы и отравления (9,1%), затем заболевания костно-мышечной системы (5,9%), болезни системы кровообращения (4,2%) и кожи (4,0%).

Анализ показателей относительного риска у лиц, принимавших участие в работах по ликвидации катастрофы на Чернобыльской АЭС и ее последствий показал значительное его увеличение только для рака щитовидной железы как у мужчин (в 3,2 раза), так и у женщин (в 2,3 раза). Также у мужчин, ликвидаторов, статистически значимое увеличение относительного риска отмечается по раку ануса (в 2 раза), хроническому лимфолейкозу (1,3 раза), хроническому миелолейкозу (1,7 раза). У женщин ликвидаторов статистически значимое увеличение относительного риска отмечается по хроническому лимфолейкозу (1,6 раза).

Значительное достоверное увеличение относительного риска у эвакуированного населения отмечается только для рака щитовидной железы как у мужчин (в 15,6 раз), так и у женщин (в 5,7 раза). Статистически значимо высокий риск был отмечен для рака шейки матки (1,5 раза). По ряду остальных нозологических форм злокачественных новообразований статистически значимых различий не отмечается.

У лиц, проживающих или работающих на территории с плотностью загрязнения почв  $Cs^{137}$  5-15  $Ku/km^2$  отмечается значимое увеличение относительного риска для рака щитовидной железы (у мужчин в 3,0 раза и у женщин в 1,7 раза), рака губы у женщин (в 1,9 раза), рака шейки матки (в 1,2 раза), у мужчин рака неба (2,1 раза) и нижней части глотки (1,5 раза).

Увеличение относительного риска у детей, родившихся от лиц, отнесённых к 1-3 группам первичного учёта, и их последующих поколений отмечается для злокачественных новообразований глаза и его придаточного аппарата (в 3,1 раза) у обоих полов, острого лимфобластного лейкоза (2,9 раза) у женщин, острого миелобластного лейкоза (3,5 раза) и рака щитовидной железы (в 3,8 раза) у мужчин.

Для лиц в возрасте 0-18 лет на момент аварии на ЧАЭС (ГПРР Б) значительное увеличение относительного риска отмечается самый высокий риск развития рака щитовидной железы как у мужчин (в 20 раз), так и у женщин (в 10 раз).

Полученные результаты, легли в основу выработанных критериев определения групп повышенного радиационного риска для проведения углубленного мониторинга состояния здоровья и дальнейшего перспективного радиационно-эпидемиологического исследования.

ГПРР (А) – граждане, указанные в 1 и 2 группах первичного учёта, находившиеся в пределах зоны эвакуации в 1986 году;

ГПРР (Б) – граждане, указанные в 3 и 5 группах первичного учёта, в возрасте от 0 (получившие внутриутробное облучение) до 18 лет на момент аварии на ЧАЭС (1968-1986 годы рождения);

ГПРР (В) – граждане с неоднократным в течение 2-х и более лет превышением дозы внутреннего облучения 1 мЗв/год.

Проведенный анализ показателей заболеваемости РЩЖ в Республике Беларусь позволил выявить значительный рост заболеваемости, начиная с 1991 года, который практически прекратился после 2001 года.

Статистически значимые отличия в заболеваемости РЦЖ от популяционного уровня у пострадавшего населения за весь анализируемый период были отмечены у всех категорий пострадавшего населения. Уже в первые три года после аварии статистически значимые различия были отмечены у эвакуированного населения ( $SIR=6,3$  (2,32-13,77)). При этом у ликвидаторов и проживающих или работающих в зоне первоочередного и последующего отселения, а также отселённых или самостоятельно выехавших из этих зон не было отличий в заболеваемости РЦЖ от популяционного уровня.

После 1989 г. был отмечен рост показателя соотношения заболеваемости РЦЖ ГПУ 1-3, который достиг максимума в 1995-1999 гг. В этот период наиболее выраженные различия с популяционным уровнем отмечались у эвакуированного населения ( $SIR=13,0$  (9,21-17,70)) и были значимо выше, чем у ликвидаторов ( $SIR=4,4$  (3,63-5,25)) и проживающих или работающих в зоне первоочередного и последующего отселения, а также отселённых или самостоятельно выехавших из этих зон ( $SIR=2,4$  (1,88-2,98)).

Начиная со следующей пятилетки отмечалось снижение показателей  $SIR$  в ГПУ 1-3. Данная тенденция привела к тому, что в 2010-2015 гг. показатели заболеваемости РЦЖ в ГПУ 1-3 приблизились к популяционному уровню ( $SIR=1,4$  (1,04-1,8),  $SIR=1,8$  (0,73-3,75) и  $SIR=1,3$  (1,02-1,68) соответственно).

У ликвидаторов, наиболее облученной категории среди всех жителей Беларуси, не зависимо от возраста на момент аварии, заболеваемость РЦЖ статистически значимо превышала популяционный уровень в 2,5-3,0 раза.

Максимальные значения  $SIR$  при анализе заболеваемости РЦЖ среди всех исследуемых групп отмечались у эвакуированного населения.

Таким образом риск развития всех злокачественных новообразований у пострадавшего населения за исключением рака щитовидной железы был сопоставим с популяционными уровнями.

В настоящее время отсутствуют единые подходы к определению причинно-следственной связи заболеваемости, инвалидности и смертности в странах наиболее пострадавших в результате аварии. Так, в перечень причинно-связанных заболеваний в Российской Федерации включено 150 нозологических форм заболеваний, в Украине 176.

В Перечень (Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 26.06.2009 г. № 73) - 18. В настоящее время подготовлен проект нового перечня заболеваний в котором предлагается сократить как контингенты населения у которого может быть установлена причинная связь заболеваемости, так и нозологий, связанных с воздействием радиационного фактора.

В настоящее время остается актуальной проблема поиска объективных критериев причинной связи заболеваний с радиационным облучением и является одним из важных вопросов радиационной медицины.

## **MEDICAL EFFECTS OF CHERNOBYL DISASTER IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

*I.V. Veyalkin, A.V. Rozhko, A.A Cheshik, O.N. Saharova*

The aging of study revealed population and its gradual natural decline were shown. The most pronounced aging was observed in the cohort of liquidators from 41.0 [30.0; 50.0] years in 1986 to 59.0 [54.0; 66.0] years in 2014. In the analysis of the primary incidence rates the negative trend was found. The structure of primary morbidity of the affected population did not differ from the Republic of Belarus morbidity structure: in the first place there are respiratory diseases (49.4%), second - injury and poisoning (9.3%) and the third - diseases of the musculoskeletal system (6.1%). The mortality of the affected population did not exceed the republican level, and in the cohort of liquidators it was below the population level (in 2014 SMR = 0,98 (0,93-1,03)). The incidence of malignant tumors in the affected population as a whole was slightly higher than the population level or it was even lower (PRG 1: SIR = 1,05 (1,04-1,07), PRG 2: SIR = 0,97 (0,89-1,04 ), PRG 3: SIR = 0,9 (0,86-0,91)). Elevated levels of cancer incidence were observed due to the high incidence rates of thyroid cancer (all PRG) and leukemia (in 1 PRG).

The strong positive correlation between individualized doses on thyroid gland and SIR for thyroid cancer was observed in females but not in males. No correlation was found between individualized doses on bone marrow and SIR for leukemia was observed.

Our analysis showed that health indicators of affected people did not differ from the entire population of the Republic of Belarus. The analysis was conducted across the primary registration groups (PRG: 1 – liquidators, 2 evacuees, 3 – residents of contaminated areas and 4 – born of people from 1-3 PRG). However, high risk of leukemia in the PRG 1 and 4, and the thyroid cancer in the PRG 4 are the subjects to be paid attention. The successes in the stabilizing the health indicators in affected population was achieved due to the organization of almost 100% clinical examination of the population.

# ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В ОТДАЛЁННОМ ПЕРИОДЕ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

<sup>1</sup>Власова Н.Г., <sup>2</sup>Висенберг Ю.В., <sup>3</sup>Чунихин Л.А. <sup>4</sup>Батян А.Н.

<sup>1</sup>ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» МЗ Беларуси, Гомель, Беларусь

<sup>2</sup>УО «Гомельский государственный медицинский университет», Беларусь

<sup>3</sup>ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, Беларусь

<sup>4</sup>УО «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

Оценка доз облучения необходима для принятия решения о вмешательстве в практическую деятельность человека, т.е. о введении противорадиационных мер по снижению доз облучения населения и выявления наиболее облучаемых групп населения с целью оказания им адресной медицинской помощи.

Для решения этой задачи необходима оценка средних годовых эффективных доз (СГЭД) облучения населения радиоактивно загрязнённой территории. В соответствии с Законами Республики Беларусь проводится отнесение населенных пунктов (НП) к зонам радиоактивного загрязнения 1 раз в 5 лет на основании данных о средней годовой эффективной дозе облучения и средней плотности загрязнения территории населенного пункта радионуклидами цезия-137, стронция-90 и плутония-238, 239, 240 [1, 2].

Для оценки доз внутреннего облучения человека обычно использовали два класса моделей: детерминистские и феноменологические, которые представлены на рисунке 1.

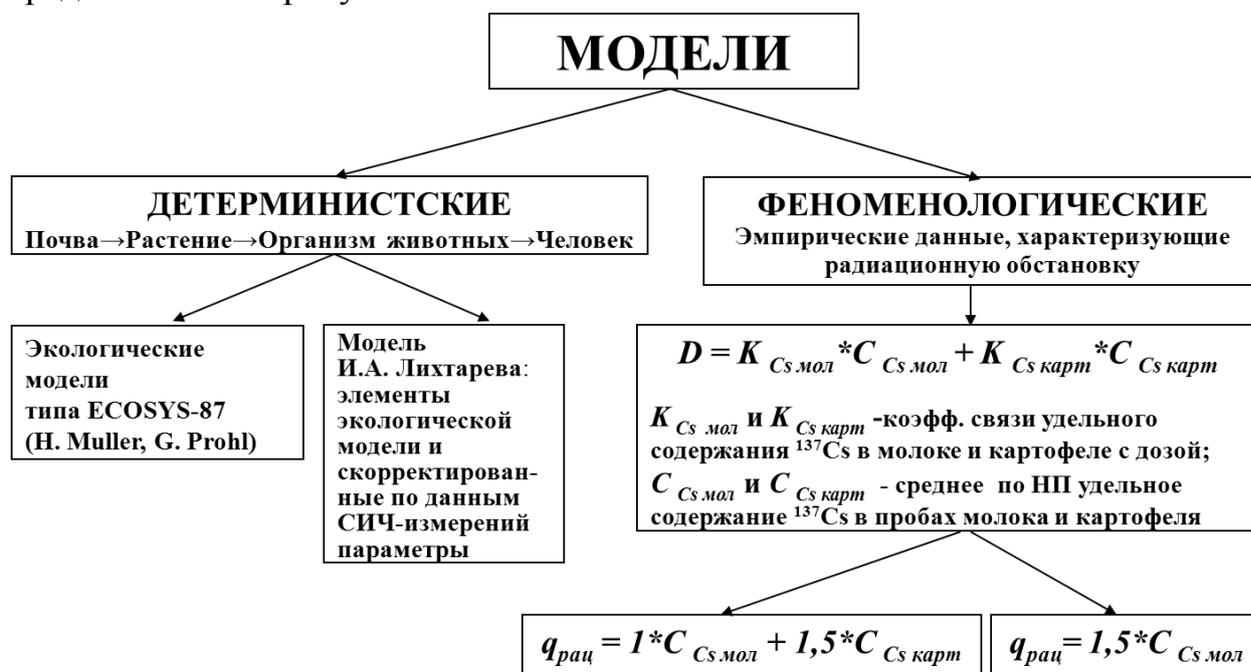


Рисунок 1 - Модели оценки доз внутреннего облучения

Первый класс моделей основан на определении коэффициентов перехода по звеньям трофической цепи: почва → растение → организм животных → человек. Детерминистские модели включают экологические модели разного вида и сложности типа ECOSYS-87 [3], в которые включены все пути поступления радионуклидов.

Разнообразие почв территории загрязнения черномыльскими радионуклидами обуславливает варьирование коэффициентов перехода из почвы в сельскохозяйственные растения в диапазоне двух порядков величины. Это делает ограниченным применение детерминистских моделей.

Еще один подход включает элементы экологической модели и скорректированные по данным СИЧ-измерений параметры. Примером может служить модель, предложенная Лихтаревым И.А. и Якобом П. с соавторами [4]. Параметры модели подбирают с учетом региональных особенностей.

В отличие от моделей, которые позволяют оценивать среднюю дозу для конкретного населённого пункта, модель позволяет точнее прогнозировать средние значения для экологически различающихся регионов, а не для конкретного НП, жители которого нуждаются в радиационной защите.

Второй класс – феноменологические модели, основаны на экспериментально полученных данных, характеризующих радиационную обстановку.

К ним относятся методики оценки доз внутреннего облучения, в течение ряда лет используемые странами СНГ на загрязненных в результате аварии территориях [5 – 8].

Поступление радионуклидов с продуктами питания представлено двумя компонентами: продуктами животного происхождения, эквивалентными суточному потреблению 1 л молока, и остальными компонентами рациона и питье-вой водой, эквивалентными суточному потреблению 1,5 кг картофеля. При отсутствии данных об активности картофеля -1,5 л молока.

Проведенный анализ моделей расчета доз внутреннего облучения позволил отметить их особенности. Так, измерения молока и картофеля для оценки дозы внутреннего облучения проводят одномоментно, хотя известно о различиях в условиях загрязнения молока в пастбищный и стойловый период. При отборе проб не учитывают возможность проведения в НП защитных мероприятий и не оценивают их эффективность. Модели не в состоянии “гибко” и адекватно реагировать на изменения рациона, в частности, увеличение доли потребления пищевых продуктов леса. Модельные оценки в несколько раз превышают фактические значения доз, рассчитанные по данным СИЧ. В отдельных случаях они занижены в связи с неучётом потребления продуктов леса. Эти недостатки моделей увеличивают уровень консерватизма оценки дозы внутреннего облучения.

Представленная в Каталоге доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь 1992 г. [9] СГЭД внутреннего облучения являлась

консервативной оценкой, которая в 2,0 – 2,5 раза выше средней фактической дозы облучения жителей НП.

Методики определения дозы облучения совершенствовались в связи с необходимостью коррекции численных значений и параметров моделей. Такая коррекция обусловлена постоянными процессами физического распада и миграции радионуклидов в окружающей среде, которые приводят к динамическим изменениям содержания и распределения радионуклидов в почве, воздухе, воде, сельскохозяйственной продукции и, как следствие, в организме человека.

В связи с тем, что был обнаружен значительный вклад в дозу внутреннего облучения пищевых продуктов леса (грибы, лесные ягоды, мясо диких животных), в “молочный” компонент дозы внутреннего облучения в Беларуси ввели коэффициент, учитывающий потребление даров леса.

В методиках оценки доз внутреннего облучения населения, которые использовали для зонирования в Беларуси, России и Украине, заложен большой запас консерватизма, который обусловлен действием Каталога доз в течение 5-лет. Задачей оценки дозы внутреннего облучения является не превышение дозы в период действия Каталога доз, что возможно вследствие значительных вариаций в уровнях загрязнения молока и, особенно, пищевых продуктах леса в течение этого периода.

Оценка доз внутреннего облучения на основе измерений с помощью СИЧ в основном использовалась для верификации модели, что связано с недостаточным количеством СИЧ в России и Украине.

В тоже время, оценка доз облучения по результатам СИЧ-измерений является наиболее точной и надежной, т.к. она обусловлена фактически поступившим в организм радионуклидами с реальным рационом питания.

В Беларуси введена система дозового мониторинга жителей, загрязненных чернобыльскими радионуклидами территорий на основе СИЧ-установок. В настоящее время функционирует 35 СИЧ-установок.

К настоящему времени накоплена база СИЧ-измерений, которая содержала ~ 3 млн. записей, что позволило использовать эти данные для разработки метода оценки СГЭД внутреннего облучения.

Сравнение доз внутреннего облучения, рассчитанных по СИЧ-измерениям жителей НП, показало, что они в 2,5 – 3 раза превышают “модельные” оценки [10]. Вместе с тем, наблюдается и обратная зависимость. Это указывает на то, что в методиках не учтено влияние косвенных факторов.

Кроме использования данных СИЧ-измерений при разработке методики оценки среднего значения дозы, в дополнение к прямым факторам (уровню радиоактивного загрязнения) были учтены косвенные факторы, оказывающие влияющие на дозообразование. К их числу относят:

- социальный – численность жителей населенного пункта;
- природный – наличие и доступность для сельских жителей пищевых продуктов леса;

– радиоэкологический – тип почвы сельхозугодий, определяющий коэффициент перехода радионуклидов цезия по цепи почва→молоко.

Известно, что социальные и экономические условия жизни сельских жителей в разных населенных пунктах неодинаковы. Очевидно, что, чем меньше НП, чем дальше он расположен от локального центра, тем относительно хуже социальные и экономические условия жизни его жителей, и тем больше степень натурализации в личном подсобном хозяйстве. Отличается и демографический состав населения: в малых НП меньше детей, больше людей пожилого возраста. В силу этих причин потребление загрязненных продуктов, а, следовательно, и доза, в малых НП должна быть выше, чем в крупных.

Выявлена зависимость усредненной дозы внутреннего облучения сельских жителей от численности жителей в населённом пункте: чем меньше НП, тем выше доза внутреннего облучения [11].

Это обусловлено тем, что численность населения – интегральный показатель социально-экономического уровня жизни, который выражает степень натурализации ведения хозяйства, т.е. чем меньше населенный пункт (чем дальше от центра и дорог), тем больше вероятность потребления продуктов питания из личных подсобных хозяйств, тем выше доза внутреннего облучения.

В каждом отдельном случае необходимо изучить характеристику территории, на которой находится НП. Так, многочисленными исследованиями установлена исключительно важная роль в дозообразовании “лесного” фактора [12].

Проведенный анализ выявил регрессионную зависимость дозы внутреннего облучения от коэффициента перехода радионуклидов в цепи “почва→молоко” с высоким коэффициентом корреляции [13].

Для разработки метода оценки СГЭД внутреннего облучения жителей НП, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения, были использованы данные 150 000 СИЧ-измерений в 458 НП за период 2005-2007 гг. 400 000 СИЧ-измерений в 597 НП за период 2009-2013 гг.

Выбранные НП с достаточным количеством СИЧ-измерений были классифицированы по идентичным условиям формирования дозы внутреннего облучения на три региона: Полесский, Центральный, Северо-Восточный. Количество НП по регионам представлено в таблице 3.

Таблица 3 - Количество населенных пунктов, вошедших в обучающую выборку каждого региона

Регион	Количество населенных пунктов
Полесский	80
Центральный	233
Северо-Восточный	284
Всего	597

В Полесский регион вошли: Ельский, Лельчицкий и Наровлянский районы;

В Центральный регион: Брагинский, Житковичский, Калинковичский, Мозырский, Речицкий, Рогачевский, Петриковский, Светлогорский и Хойникский районы;

В Северо-Восточный регион: Буда-Кошелевский, Ветковский, Гомельский, Добрушский, Жлобинский, Кормянский, Лоевский и Чечерский районы.

Для построения регрессионных моделей дозы внутреннего облучения на плотность загрязнения территории населенные пункты были объединены в группы с примерно одинаковой плотностью загрязнения территорий: менее 37 кБк/м<sup>2</sup>, 37-62 кБк/м<sup>2</sup>, 63-106 кБк/м<sup>2</sup>, 107-179 кБк/м<sup>2</sup>, 180-302 кБк/м<sup>2</sup>, 303-511 кБк/м<sup>2</sup>. Среднее значение плотности загрязнения по диапазонам составило: 24 кБк/м<sup>2</sup>, 50 кБк/м<sup>2</sup>, 84 кБк/м<sup>2</sup>, 135 кБк/м<sup>2</sup>, 221 кБк/м<sup>2</sup>, 381 кБк/м<sup>2</sup>, соответственно.

Для всех НП в заданном интервале, усреднили значения дозы внутреннего облучения критической группы и сопоставляли со средним значением плотности загрязнения территории в данном интервале. Полученные линейные зависимости для 3-х регионов представлены на рисунке 2.

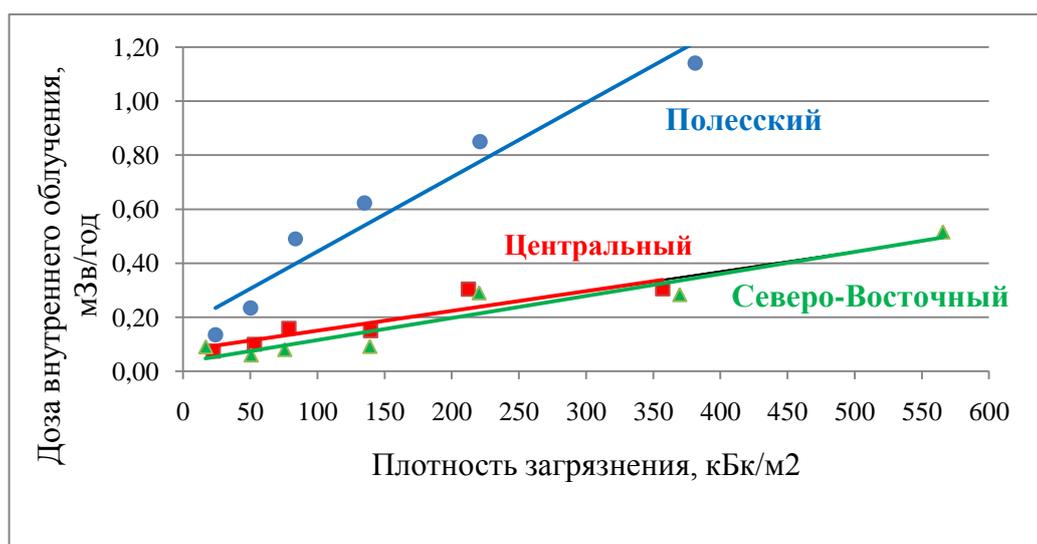


Рисунок 2 - Зависимость дозы внутреннего облучения от плотности загрязнения территории

Параметры уравнения регрессии вида  $y=a+bx$  представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры уравнения регрессии и коэффициенты корреляции

Регион	Коэффициент корреляции	Уровень значимости коэффициента корреляции	Параметры уравнения	
			a	b
1 Полесский	0,87	0,0006	0,1570	0,0028
2 Центральный	0,91	0,0128	0,0767	0,0007
3 Северо-Восточный	0,95	0,0002	0,0342	0,0008

Из таблицы 4 видно, что коэффициенты корреляции достаточно высоки, что говорит об адекватности модели. Значения свободного члена в регрессионных уравнениях можно интерпретировать как так называемый “импорт дозы”, связанный с тем, что люди, проживая на территориях с низкой плотностью загрязнения пользуются “дарами” леса, расположенного на относительно загрязненной территории.

Чтобы оценить качество модели, была сформирована контрольная выборка населенных пунктов из разных регионов, которые сознательно не были включены в выборку для разработки модели. Было проведено сравнение доз внутреннего облучения, рассчитанных по модели с дозами, рассчитанными по результатам СИЧ-измерений у жителей населенных пунктов контрольной выборки. В таблице 5 представлены значения средних годовых доз внутреннего облучения, рассчитанные по модели и по результатам СИЧ-измерений для жителей исследуемых населенных пунктов.

Таблица 5 – Дозы внутреннего облучения некоторых населенных пунктов, оцененные двумя способами

Район	Населенный пункт	Численность населения	$\sigma_{Cs}$ , кБк/м <sup>2</sup>	Средняя доза внутреннего облучения, мЗв/год		Модель/СИЧ
				по Модели	по СИЧ	
Гомельская область						
Брагинский	Дублин	300	191	0,211	0,164	1,29
Брагинский	Углы	266	97	0,144	0,174	0,83
Брагинский	Шкураты	201	142	0,176	0,129	1,36
Ветковский	Ветка	8100	370	0,330	0,337	0,98
Гомельский	Головинцы	804	39	0,066	0,100	0,66
Добрушский	Добруш	18800	91	0,107	0,095	1,13
Ельский	Валавск	730	236	0,817	0,596	1,37
Ельский	Добрынь	679	199	0,713	0,559	1,28
Ельский	Дуброва	351	81	0,383	0,335	1,14
Ельский	Засинцы	296	78	0,377	0,285	1,32
Житковичский	Люденевичи	1016	39	0,104	0,072	1,44

Лельчицкий	Ударное	724	38	0,263	0,229	1,15
Речицкий	Солтаново	952	29	0,097	0,076	1,28
Хойникский	Глинище	604	80	0,133	0,124	1,07
Хойникский	Козелужье	510	108	0,153	0,142	1,08
Могилёвская область						
Быховский	Селец	444	105	0,150	0,131	1,15
Костюковиски	Бел.	774	137	0,143	0,101	1,42
Костюковиски	Прудок	6	489	0,425	0,333	1,28
Краснопольски	Выдренка	75	328	0,297	0,325	0,91
Краснопольски	Палуж 2	67	545	0,470	0,550	0,85

Данные таблицы 5 показывают хорошую сопоставимость результатов регрессионных оценок по модели и по СИЧ-измерениям для населенных пунктов всех регионов, расположенных на территориях с различной плотностью загрязнения. Ошибка прогноза по модели составила 30 %, что свидетельствует о высоком качестве модели.

Дозы внутреннего облучения, рассчитанные по модели, в каждом из трех регионов получили на основе классификации по прямым факторам дозоформирования. Эти оценки были сделаны для усредненных по региону значений площади леса в регионе и числу жителей в НП. В НП, численность жителей и близость к лесу в ареале которых отличаются от среднерегionalных, необходимо учитывать влияние косвенных факторов.

Для учета влияния косвенных факторов на СГЭД внутреннего облучения жителей сельских НП была проведена классификация НП каждого региона по таким косвенным факторам, как: численность жителей в НП и удельная плотность леса в ареале НП (площадь леса в радиусе 3 км вокруг НП, отнесенная к числу жителей). Для этого в каждом регионе выбрали по 4 группы НП с близкими значениями величины удельной площади леса. Удельная площадь леса – отношение площади леса к численности жителей НП, в ареале которого находится лес. Каждая группа характеризовалась средним значением численности населения и удельной площадью леса в НП. СГЭД внутреннего облучения жителей каждого НП была нормирована на среднее значение дозы облучения для группы со средними показателями, которые принимались за 1. Для каждого региона была построена линейная регрессия относительной дозы на удельную площадь леса в НП (см. рис.3).

В таблице 6 представлены параметры уравнений регрессии и коэффициенты корреляции для трёх регионов.

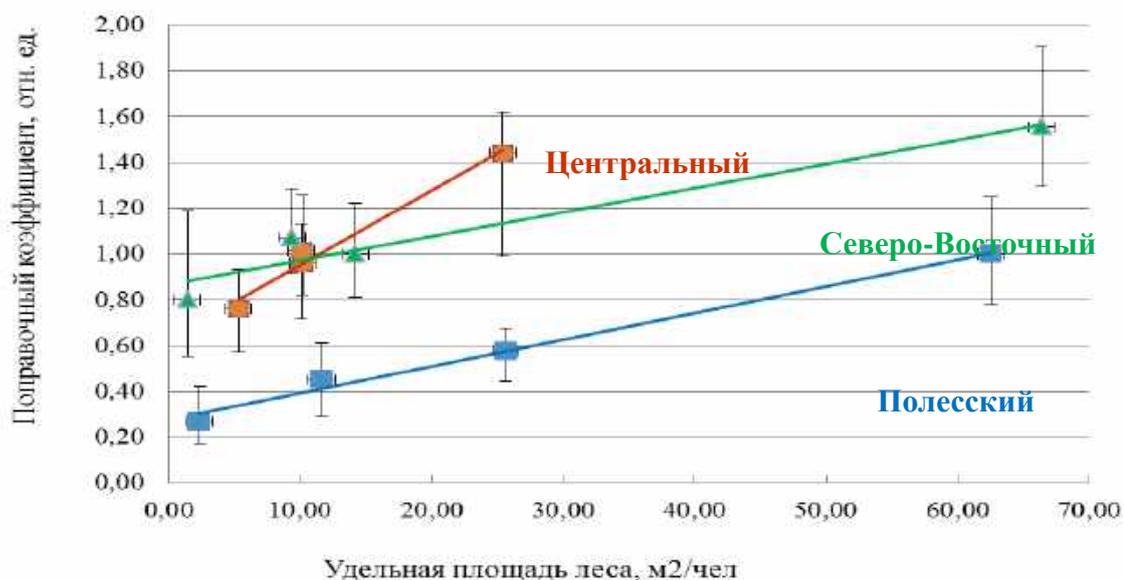


Рисунок 3 - Зависимость поправочного коэффициента  $K_{попр}$  от удельной плотности леса

Таблица 6 - Параметры уравнения регрессии и коэффициенты корреляции

Регион	Коэффициент корреляции	Уровень значимости коэффициента корреляции	Параметры уравнения	
			a	b
Полесский	0,99	0,005	0,034	0,48
Центральный	0,98	0,010	0,018	0,87
Северо-Восточный	0,96	0,031	0,056	0,66

Проведенная классификация позволяет непосредственно вносить поправки в значение дозы внутреннего облучения для НП, у которых значения косвенных признаков отличается от среднерегиональных.

По результатам была разработана инструкция по применению “Метод оценки средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территориях, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС”, утв. МЗ Беларуси, которая, в свою очередь, явилась основанием для создания очередного “Каталога средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь”, который действует с 2015 по 2020гг.

Проведен анализ результатов оценки СГЭД облучения жителей НП, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения.

В таблице 7 представлено распределение НП и численности жителей Беларуси по дозовым диапазонам, превышающим и равным 1 мЗв/год.

Таблица 7 Распределение населённых пунктов и численности населения Беларуси по дозовым диапазонам, превышающим или равным 1 мЗв/год

Доза, мЗв/год	Область	2009		2015	
		Количество НП	Численность населения	Количество НП	Численность населения
>1	Брестская Гомельская Могилёвская	<b>191</b>	<b>48 128</b>	<b>78</b>	<b>20 157</b>
=1	Гомельская	<b>2</b>	<b>6 214</b>	<b>4</b>	<b>932</b>
<b>≥1</b>		<b>193</b>	<b>54 342</b>	<b>82</b>	<b>21 089</b>

Как видно из данных таблицы 7, СГЭД превысила или = 1 мЗв/год в 82 НП из 2400, в которых проживает ~ 21 000 человек. Ни в одном из НП СГЭД не превысила 5 мЗв/год.

По Каталогу доз 2009 года из 2613 населенных пунктов в 193 НП СГЭД облучения превышала или равнялась 1 мЗв/год, в которых проживало 54 000 человек.

Данные Каталога доз наряду с плотностью загрязнения территории НП явятся основанием для принятия постановления Совета Министров Республики Беларусь “Об утверждении перечня населённых пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения” № 09 от 11.01.2016.

Проведен сравнительный анализ СГЭД облучения жителей НП, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения, представленных в 4 Каталогах доз: 1992, 2004, 2009 и 2015.

На рисунке 4 представлены интегральные распределения СГЭД жителей НП, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения, соответствующие четырём периодам. Как видно из рисунка и данных таблицы 8, наблюдается общая тенденция к снижению СГЭД.

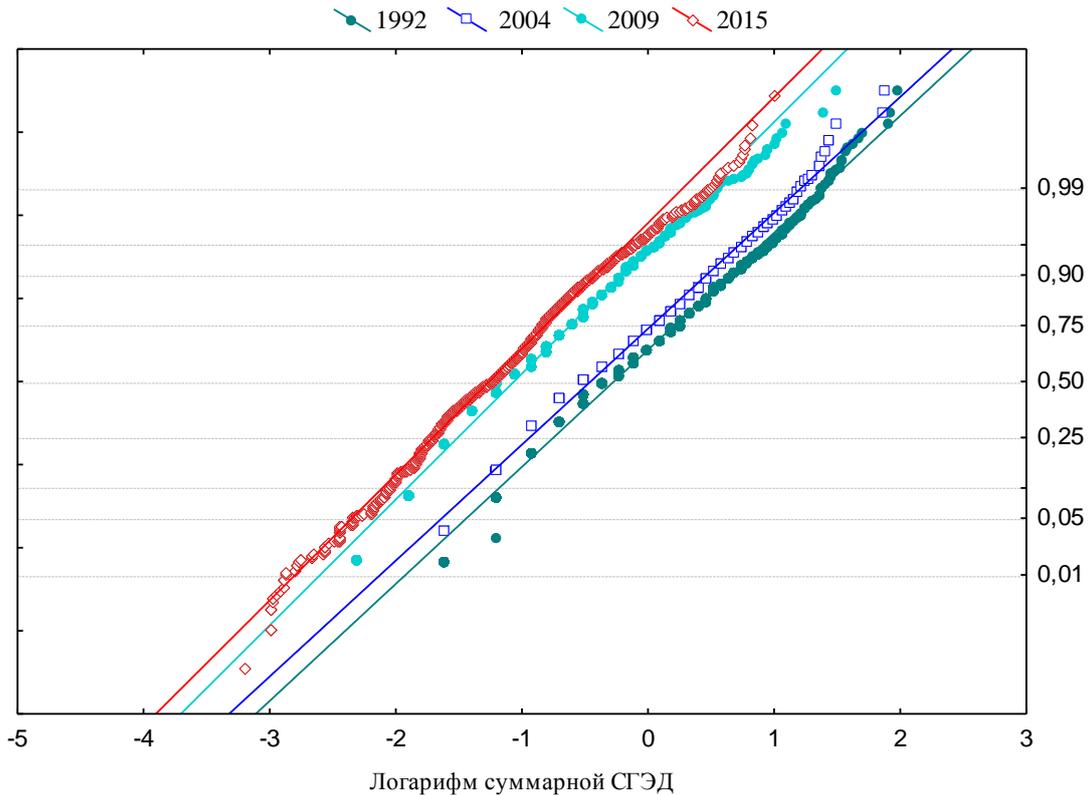


Рисунок 4 – Распределение СГЭД облучения жителей НП, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения

Очевидно, близкие значения стандартного геометрического отклонения распределения СГЭД  $4^x$  Каталогов и практически параллельность распределений свидетельствуют об адекватности выбранного методического подхода.

Таблица 8 - Параметры распределения СГЭД облучения жителей населенных, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения

Параметр	СГЭД			
	1992 г	2004г	2009г	2015
Среднее, мЗв/год	0,99	0,83	0,46	0,34
Медиана, мЗв/год	0,70	0,59	0,35	0,25
Стандартное геометрическое отклонение	2,01	1,99	1,83	1,83
Нижняя граница ошибки среднего, мЗв/год	0,35	0,30	0,19	0,14
Верхняя граница ошибки среднего, мЗв/год	1,41	1,17	0,64	0,46

Данные Каталога доз наряду с плотностью загрязнения территории НП являются основанием для принятия постановления Совета Министров Республики Беларусь “Об утверждении перечня населённых пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения” № 09 от 11.01.2016.

### Литература

1. Республика Беларусь. Закон. «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий»: введ.: 06.01.2009. – Минск. - 20 с.
2. Республика Беларусь. Закон. «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС»: введ.: 04.07.2006. – Минск. - 29с.
3. Muller, H. Ecosys-87: A Dynamic Model for Assessing Radiological Consequences of Nuclear Accidents / H. Muller and G. Prohl // Health Physics. 64(3): 232-252; 1993.
4. Likhtarev, I.A. Main Problems in Post-Chernobyl Dozimetry. Proceedings of the International Workshop at Chiba / I.A. Likhtarev [et al] // Assessment of the Health and Environmental Impact from Radiation Doses due to Released Radionuclides, January 18-20, 1994. P. 45.
5. Определение годовых суммарных эффективных эквивалентных доз облучения населения для контролируемых районов РСФСР, УССР, БССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Методические указания – Москва, 1991 – утв. Глав. гос. сан. вр. СССР А.И. Кондрусевым 05.07.91 N 5792-91.
6. Методические указания “Определение средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии Чернобыльской АЭС”. МУ –2.7.7.001-93.
7. Методические указания “Определение годовой суммарной эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС”. – Минск, 1998.
8. Методические указания “Оценка эффективной дозы внешнего и внутреннего облучения лиц, которые проживают на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС”. – Минск, 2003.
9. Каталог доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь. Утверждено Министром здравоохранения В.С. Казаковым – 19 октября 1992г. – Минск, 1992
10. Jacob, P. Pathway analysis and dose distributions JSP5 / P. Jacob, G. Prohl, I.A. [et al.] // Final Report for the contracts COSU-CT93-0053 and COSU-CT94-0091 of the European Commission. December 1995. // Report EUR 16541EN. Brussels, Luxembourg.- 1996, - 130 P.

11. Evaluation of the Population Dose in Relation to Social and Geographical Factors after the Chernobyl accident / The Cooperation Project N 07 GUS01/7 - Final report - Ulich, Germany, 1997.

12. Vlasova, N.G. Rural Settlements: Social and Ecological Factors Influencing Dose Formation / N.G. Vlasova, Yu.V. Visenberg // Экологический вестник. – 2007. – №3 – С. 57–64.

13. Власова, Н.Г. Оценки доз облучения населения в отдалённом периоде аварии на ЧАЭС: опыт международного сотрудничества / Н.Г. Власова, Ю.В. Висенберг, Л.А. Чунихин // Радиационная гигиена.– 2013. – Том 6, № 1, – С. 45 – 52.

### **Doses of Population at Long-term period after the Chernobyl Accident**

*Vlasova N.G., Visenberg Yu.V., Chounikhin L.A., Batyan A.N.*

The method for assessment the average annual effective internal doses in inhabitants living in contaminated settlements of the Belarus Republic had been developed. The results of the Whole Body-measurements had been used as the basis for developing a model. Model for the dose estimation is based on the classification of settlements according to regional characteristics of soil, which cause  $^{137}\text{Cs}$  intake with locally produced foodstuff. The model is also based on regression of internal dose on the density contamination of the soil for each region. The effect of the indirect factors on the dose forming had been taken into account: the number of inhabitants and the area of forest around the settlement. According to the developed method, Catalog of Average Annual Effective Doses in Residents of the Belarus Republic had been created.

### **АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ЗОНЫ АВАРИИ ЧАЭС НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ LANDSAT**

*Груммо Д.Г.*

Государственное научное учреждение «Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф.Купревича НАН Беларуси», Беларусь, Минск

Выделенная вокруг Чернобыльской АЭС 30-км зона отчуждения представляет собой уникальный научный полигон, который может служить экспериментальным полем для разноплановых научных исследований в течение сотен лет. При этом особый научный интерес представляют лесные биогеоценозы, являющиеся естественными биогеохимическими стабилизаторами и регуляторами радиэкологической обстановки в зоне аварии [1].

Геоботанические исследования, проведенные в первые годы после аварии на ЧАЭС, позволили установить, что техногенная катастрофа стала

причиной полной гибели около 800–1000 га лесов, что составляло 0,8–1,0% всей лесопокрытой площади зоны. Радиационное поражение лесов проявилось в той или иной степени на 16,3 тыс. га. По степени поражения древесного яруса выделено 4 зоны [5]. Установлено, что первый этап восстановительных процессов в лесах 30-км зоны практически полностью завершился к 1990–1992 гг. [2]. Полученные данные подтвердили, что радиационное воздействие на лесные фитоценозы в зоне аварии ЧАЭС носило обратимый характер на подавляющем большинстве лесных площадей [3–5].

При анализе состояния лесов в 30-км зоне на 5–7 год после аварии было сделано заключение, согласно которому основной урон лесам был причинен инженерно-техническими мероприятиями по дезактивации и их бесхозностью в эти годы. Техногенные мероприятия, проведенные после аварии, крайне неблагоприятно сказались на природной среде зоны: захоронение «рыжего» леса, удаление подстилки на некоторых участках, строительство дамб и перемычек на реках и мелиоративных каналах, которые впоследствии привели к затоплению более 10 тыс. га прилегающих к ним земель [3]. Значительный урон лесам был нанесен в результате обширных пожаров, общая площадь которых в 1992 г. составила 17 тыс. га. Усохшие и поврежденные древостои представляли (и представляют) большую опасность как очаги возникновения пожаров, а также размножения вредных насекомых и фитозаболеваний [4].

В последние годы вопросы динамики лесного покрова в зоне аварии на ЧАЭС практически не освещаются (во всяком случае, в доступных нам литературных источниках). В настоящее время внимание ученых-лесоведов сконцентрировано преимущественно на изучении вопросов биогеохимии техногенных радионуклидов в лесных экосистемах, лесовозобновления, морфогенеза, ростовых процессов и морфолого-анатомических особенностей древесных растений. Вместе с тем, спустя более 30 лет после аварии, накопился большой фактический материал данных дистанционного зондирования, анализ которого позволил нам определить некоторые направления динамики лесов в границах белорусского участка зоны отчуждения.

Цель данного исследования – проследить изменения лесного покрова с 1985 по 2012 г. для зоны аварии на ЧАЭС используя полный архив снимков программы Landsat.

Исследования проводили в границах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ). Заповедник включает территории Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов Гомельской области между  $51^{\circ} 30' - 51^{\circ} 50'$  северной широты и  $29^{\circ} 30' - 30^{\circ} 30'$  восточной долготы. Южная граница проходит вдоль государственной границы с Украиной. Продолжительность территории с запада на восток достигает 70 км, с севера на юг – 48 км. Площадь района исследования составляет 216,2 тыс. га.

В основу оценки динамики лесного растительного покрова ПГРЭЗ были положены результаты исследований лесов Восточной Европы, размещенные в открытом доступе [7]. Авторами был разработан оригинальный алгоритм обработки снимков и создания временных серий изображений, который позволяет картографировать общую лесопокрытую площадь, ее потери и прирост [6,8]. Для анализа использовались снимки Landsat, полученные из глобального архива и выбранные только в пределах вегетационного сезона. Модель для нормализации значения спектральной яркости основывалась на разнице между спектральной яркостью данных Landsat и многолетних средних значений спектральной яркости по данным MODIS (рисунок 1).

Полученные данные использовались для создания попиксельных временных серий наблюдений, которые были трансформированы в наборы «метрик», использованные в дальнейшем для картографирования динамики лесного покрова [6].

Результаты динамики лесного растительного покрова Полесского радиационно-экологического заповедника (за период 1985–2012 гг.), полученные на основе использования разновременных спутниковых данных представлены в таблицах 1, 2 и проиллюстрированы на рисунках 2, 3.

Анализируя полученные данные, следует отметить, что стабильные лесные земли в настоящее время занимают 84896,9 га или 39,3% территории ПГРЭЗ; лесные земли, сформированные на ранее нелесных землях – 30344,1 га (14,0%). Потери лесов (в результате ветровалов, пожаров и других неблагоприятных воздействий естественного и антропогенного происхождения) выявлены на площади 4807,5 га (2,2%); потери лесов с последующим формированием лесной структуры (посадки лесных культур, естественное лесозаращивание) – 803,4 га (0,4%). На незначительной площади лесного фонда (<0,1%) выявлены участки, на которых за рассматриваемый период наблюдалось чередование гибели и прироста леса, а также потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после нелесного состояния в 1985 г. Стабильные нелесные земли занимают 95284 га или 44,1% исследуемой территории (см. таблицу 1, см. рисунок 2).

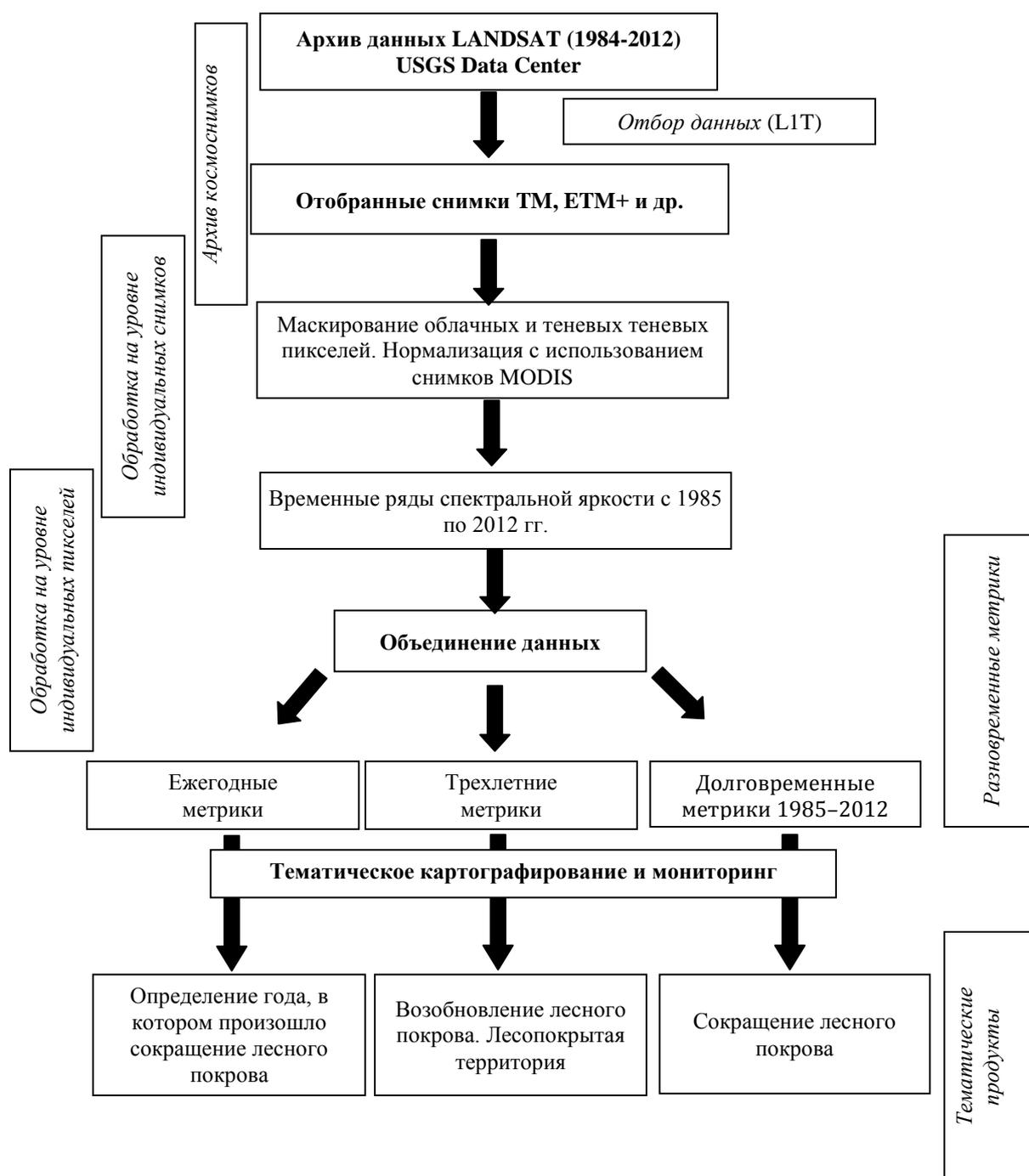


Рисунок 1 – Алгоритм обработки архива космических снимков Landsat [6]

Потери леса (см. таблицу 2, см. рисунок 3) постепенно снижались и по ревизионным периодам составили: 3272,1 га (1986–1988 гг.); 2944,6 га (1989–2000 гг.), 1564,6 г (2001–2006 гг.), 768,9 га (2007–2012 гг.). При этом обращает внимание резкое снижение потерь леса с 2000 г., что является результатом своевременного выполнения комплекса лесохозяйственных мероприятий профилактического характера (фитопатологический мониторинг, противопожарное обустройство и др.). В этот период потери лесов были связаны преимущественно с воздействием естественных факторов (усыхание хвойных лесов, пожары, ветровалы и др.).

Таблица 1– Структура и динамика лесного покрова территории Полесского радиационно-экологического заповедника (1985–2012 гг.)

Категория земель	Площадь	
	га	%
Стабильные лесные земли / Stable forest	84878,9	39,3
Лесные земли, сформированные на ранее (по состоянию на 1985 г.) нелесных землях / Forest gain over non-forest in 1985)	30344,1	14,0
Потери лесов (в последние годы) / Forest loss	4807,5	2,2
Потери лесов с последующим ростом леса / Forest loss followed by forest gain;	803,4	0,4
Участки лесного фонда с чередованием потери и прироста леса/ Repeated forest loss separated by forest gain	33,0	<0,1
Потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после нелесного состояния в 1985 г. / Forest loss on areas which gain forest cover after non-forest state in 1985	31,1	<0,1
Стабильные нелесные земли (Stable non-forest)	95284,0	44,1

Таблица 2 Потери лесов на территории Полесского радиационно-экологического заповедника за период 1985 –2012 гг.

Временной период, годы	Площадь	
	га	%
1986 – 1988	3272,1	39,3
1989 – 2000	2944,6	14,0
2001 – 2006	1564,6	2,2
2007– 2012	768,6	0,4

Таким образом, на примере тестовой территории, мы постарались показать, что в современном информационном обществе практически нет «закрытых» территорий. При этом архив спутников программы Landsat в открытом режиме позволяет заглянуть в прошлое и является основой для отслеживания долговременных изменений в растительном покрове.

В заключении заметим, что представленные материалы следует рассматривать как предварительную оценку сложившейся ситуации. Для более детального анализа необходимо проведение углубленных наземных исследований, что является перспективной задачей ученых-геоботаников.

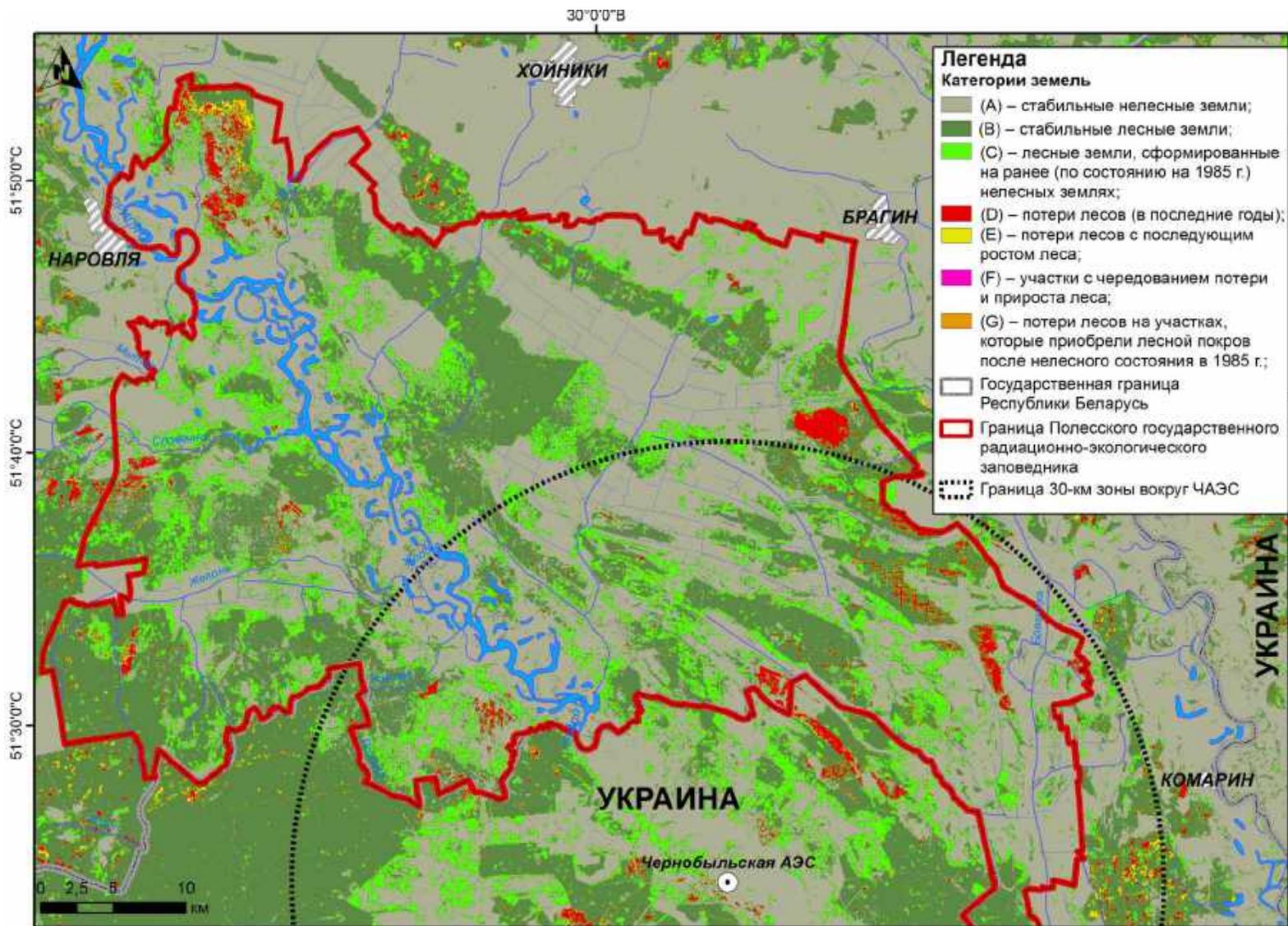


Рисунок 3 – Изменение растительного покрова Полесского радиационно-экологического заповедника за период 1985 – 2012 гг. (составлено по данным [7])

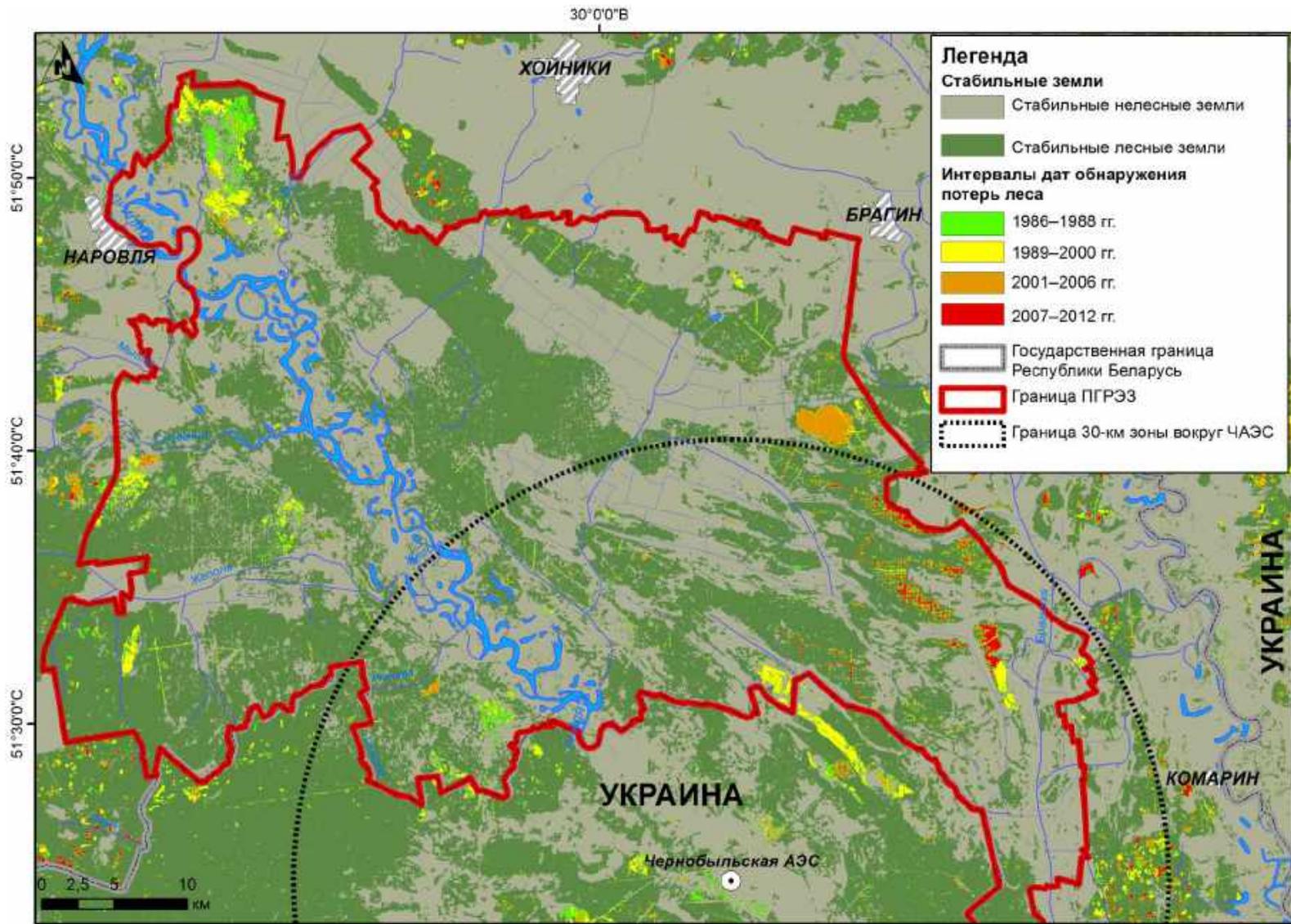


Рисунок 4 – Потери лесов на территории Полесского радиационно-экологического заповедника за период 1985–2012 гг. (составлено по данным [7])

## Литература

1. Козубов Г.М. Таскаев А.И. Радиобиологические исследования хвойных в районе Чернобыльской катастрофы. – М.: ИПЦ “Дизайн. Информация. Картография”, 2002. – 272 с.
2. Козубов Г.М., Таскаев А.И. Радиобиологические и радиоэкологические исследования древесных растений (по материалам 7-летних исследований в районе аварии на Чернобыльской АЭС). – СПб.: Наука, 1994. – 256 с.
3. Меланхолин П. Н. Геоботанические исследования в сосновых лесах ближней зоны ЧАЭС // Влияние ионизирующего излучения на сосновые леса ближней зоны Чернобыльской АЭС. – М.: Наука, 1996. – С. 186–214.
4. Радиоэкологические и лесоводственные последствия загрязнения лесных экосистем зоны отчуждения / Н.Д. Кучма, Н.П. Архипов, И.С. Федотов и др. // Чернобыль: НТЦ НПО «Припять», 1994. – 53 с.
5. Радиоэкологические исследования сосновых лесов в районе аварии на Чернобыльской АЭС / Г.М. Козубов, А.И. Таскаев, Н.В. Ладанова и др. Сыктывкар, 1987. – 52 с. (Сер. препринтов «Науч.докл.» / АН СССР, УрО, Коми филиал).
6. Турубанова, С. А. Анализ динамики лесного покрова Восточной Европы на основе спутниковых данных с 1985 по 2012 / С.А. Турубанова, А.М. Крылов, П.В. Потапов, А.Ю. Тюкавина // Russian Journal of Ecosystem Ecology. – Vol. 2 (1). – 2017. – DOI 10.21685/2500-0578-2017-1-3.
7. Global Land Analysis & Discovery [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://glad.geog.umd.edu/>. – Дата доступа: 24.06.2017.
8. Potapov, P.V. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive / P.V. Potapov, S.A. Turubanova, A. Tyukavina, A.M. Krylov, J.L. McCarty, V.C. Radeloff, M.C. Hansen // Remote Sensing of Environment/ – V. 159. – 2014. – P. 28-43.

## **ANALYSIS OF THE FOREST COVER DYNAMICS IN THE ZONE OF THE CHERNOBYL ACCIDENT ON THE BASIS OF LANDSAT SATELLITE DATA**

*D.G. Grummo*

The article presents the results of forest cover dynamics from 1985 to 2012 for the Polesye State Radiation&Ecological Reserve, obtained using the Landsat archive. Stable forest lands are prevail, which currently occupy 84,896.9 hectares or 39.3% of the Reserve territory; forest gain over non-forest in 1985 occupy 30,344.1 ha (14.0%). Forest loss decreased steadily during the revision periods and amounted: 3272.1 hectares (1986-1988); 2944.6 ha (1989-2000), 1564.6 g (2001-2006), 768.9 ha (2007-2012).

## ДВУХЭКСПОНЕНЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕКУЩИХ И НАКОПЛЕННЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПОСТРАДАВШЕГО В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

*Дроздов Д.Н.<sup>1</sup>, Чунихин Л.А.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины», <sup>2</sup>ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь*

На территории, загрязненной радиоактивными выпадениями в результате аварии на ЧАЭС, проживало несколько миллионов человек, подвергшихся радиоактивному воздействию в различной степени. Основой для реконструкции являются оценки средних доз жителей НП, наименее отличающиеся от измеренных значений, полученных инструментальными методами. Реконструкция дозы опирается, в основном, на расчетные методы, подкрепляемые результатами инструментальных измерений [1]. Доза внешнего облучения монотонно снижается вследствие распада радионуклидов, заглубления их по профилю почвы, контрмер; закономерности изменения дозы внутреннего облучения являются более сложными, менее прогнозируемыми, вследствие нерегулярности изменения и зависят от большого числа факторов, в том числе и от эффективности контрмер. Целью настоящей работы является разработка математической модели для оценки и прогноза, текущих и накопленных доз внутреннего облучения населения по результатам СИЧ-измерений с 1987г.

Материалами для проведения сравнительных оценок являлись средние эффективные накопленные дозы облучения жителей НП Республики Беларусь. Данные СИЧ-измерений были взяты из банка данных дозиметрического регистра РНПЦРМиЭ за период 1987-2010 гг. Информация по плотности загрязнения <sup>137</sup>Cs была предоставлена Департаментом по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды. Реконструкция средних эффективных накопленных доз внутреннего облучения жителей НП была проведена в русле развития методологических подходов оценки дозы [2]. Было показано, что основными факторами, влияющими на формирование дозы внутреннего облучения жителей НП, расположенных на загрязненных чернобыльскими радионуклидами территориях, является потребление молока и пищевых продуктов леса, особенно грибов. При этом молочный компонент дозы уменьшается вследствие проведенных контрмер и радиационного улучшения пастбищного хозяйства; в то время как уровень загрязнения даров леса практически не меняется. Потребление даров леса жителями сельских НП в значительной степени варьирует в зависимости от урожайности грибов и лесных ягод. В течение послеварийного периода менялось отношение людей к существующим запретам на потребление загрязненных пищевых продуктов, особенно «даров леса». Выделены основные факторы

формирования дозы внутреннего облучения: коэффициенты перехода из почвы в молоко, кислотность почв, удельная площадь леса в ареале НП. Используя обоснованный в работе [2] методический подход, было получено изменение доз внутреннего облучения взрослых жителей загрязненных чернобыльскими радионуклидами НП во времени по результатам СИЧ-измерений, для трех регионов, отличающихся по условиям формирования дозы. На рисунок 1 приведены средние по годам значения дозы внутреннего облучения жителей НП, отнесенные к плотности загрязнения территории проживания, для трех регионов: Полесье (регион 1), Центр (регион 2) и Северо-Восток (регион 3).

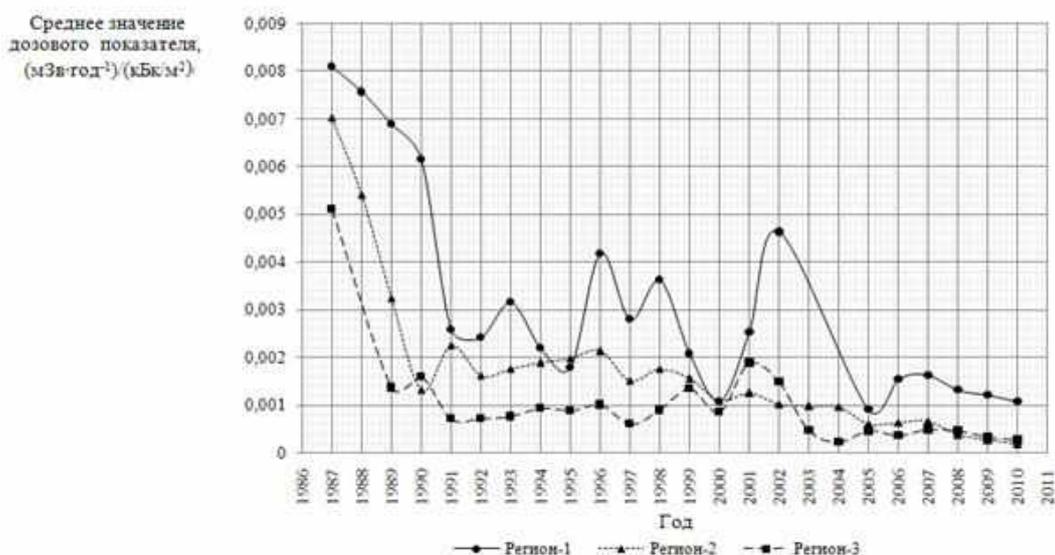


Рисунок 1 – Изменение приведенной дозы внутреннего облучения в период 1987-2008 гг. по данным массовых СИЧ-измерений

Для получения средних значений приведенной дозы (доза, деленная на плотность загрязнения), по всем годам СИЧ-измерений, был использован «золотой стандарт», т.е. выборка представительных по отношению к Каталогу доз-2009 [3]. Среднюю накопленную дозу внутреннего облучения для k-го НП j-го региона с 1987 г. можно рассчитать по зависимостям изменения дозы, приведенных на рисунок 1 при помощи следующего выражения:

$$E_{jk} = \sum_{i=1}^n \sigma_{ik} \cdot K_{ij} \quad (1)$$

где  $E_{jk}$  - накопленная доза внутреннего облучения в k-м НП j-го региона, мЗв;  $K_{ij}$  – значение приведенной дозы j-го региона в i-й год, мЗв·м<sup>2</sup>/кБк;  $\sigma_{ik}$  - плотность загрязнения территории НП <sup>137</sup>Cs, кБк/м<sup>2</sup>.

Поправки на влияние фактора леса вносили с помощью поправочных коэффициентов, определяемых по процедуре, изложенной в работе [2].

Результаты исследований и их обсуждение. Экспериментальные результаты СИЧ-измерений были аппроксимированы функцией, представляющей сумму двух экспонент вида:

$$Y = A_1 \cdot \exp(-0,693t / T_{1/2 1}) + A_2 \cdot \exp(-0,693t / T_{1/2 2}) \quad (3)$$

Параметры полученной двухэкспоненциальной зависимости приведены в таблице 1:

Таблица 1 – Коэффициенты для расчета доз по уравнению 3

Регионы	$A_1$ , мЗв·м <sup>2</sup> /кБк·год	$T_{1/2 1}$ , лет	$A_2$ , мЗв·м <sup>2</sup> /кБк·год	$T_{1/2 2}$ , лет	КК
Полесье	$72 \cdot 10^{-4}$	5	$24 \cdot 10^{-4}$	31	0,83
Центр	$29 \cdot 10^{-4}$	3	$17 \cdot 10^{-4}$	12	0,78
С-В	$32 \cdot 10^{-4}$	4	$26 \cdot 10^{-4}$	15	0,88

Экспериментальные зависимости вместе с соответствующими экстраполяциями приведены на рисунках 2-4:

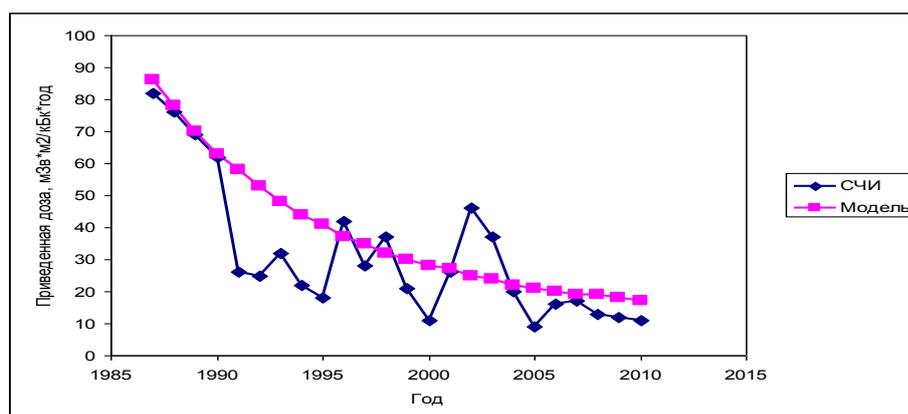


Рисунок 2 – Экстраполяция динамики среднегодовых доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов региона Полесье

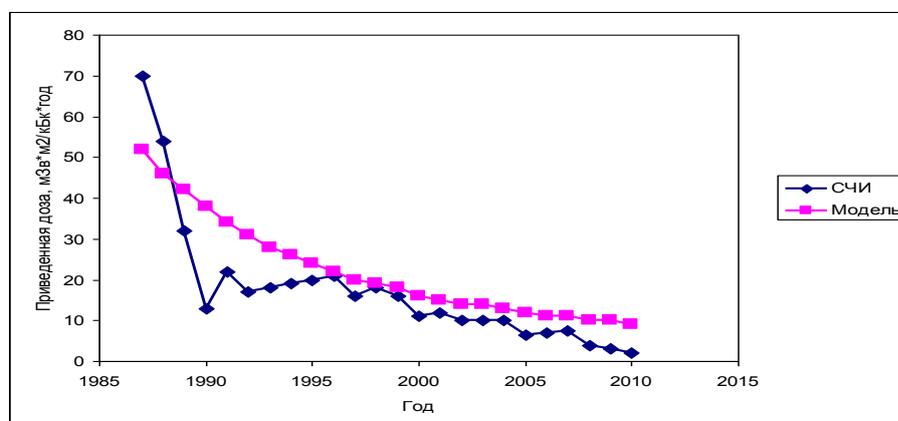


Рисунок 3 – Экстраполяция динамики среднегодовых доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов региона Центр

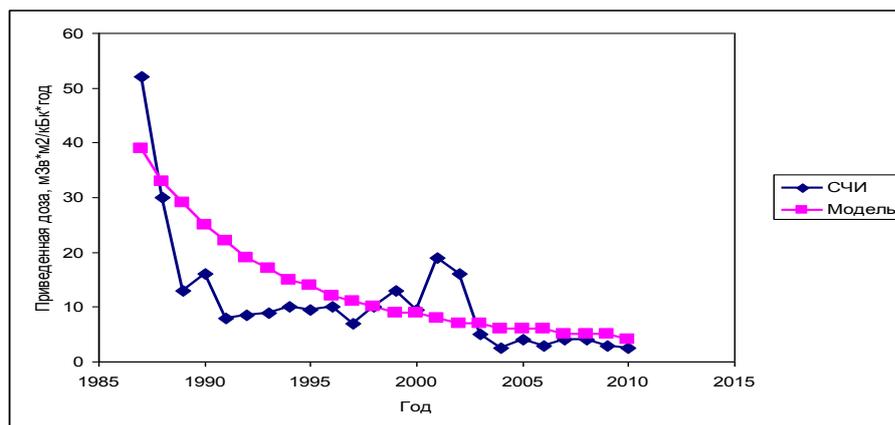


Рисунок 4 – Экстраполяция динамики среднегодовых доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов региона Северо-Восток

Динамика снижения приведенной дозы, аппроксимированной суммой 2-х экспонент имеет разумное объяснение: основные объемы противорадиационных мероприятий в первые годы после аварии были реализованы в регионе Центр, включающий Брагинский, Хойникский и Наровлянский районы. В связи с этим значение периода полууменьшения дозы 1-й экспоненты имеет наименьшее значение. Крупные масштабы и большой объем контрмер были выполнены и в регионе Северо-Восток (Ветковский, Чечерский, Кормянский и др. районы), хотя имела место значительная задержка по времени. Регион Полесье резко отличается от других по условиям дозоформирования. В основном, это объясняется преобладанием почв с аномально высокими коэффициентами почва-растение и пищевые привычки жителей региона, связанные с традиционно высоким потреблением пищевых продуктов леса. Кроме этого, территория региона в меньшей степени загрязнена чернобыльскими радионуклидами, вследствие чего объем проведенных контрмер был меньшим, чем в других регионах. Следует обратить внимание на значение периода полууменьшения дозы 2-й экспоненты для региона Полесье - 31 год. На первый взгляд, это величина является парадоксом, т.к. превышает значение периода полураспада цезия-137. Этот факт означает, что активность дикорастущих грибов и лесных ягод практически не меняется, а потребление в условиях фактического отсутствия запретов на пользование лесом значительно зависит от урожайности «даров леса» [4]. Влияние лесной компоненты дозы также выражено в «пульсирующем» характере изменения ее во времени, характерного для региона Северо-Восток и, особенно, региона Полесье (рис. 2-4). Различия в значениях экспериментальной и модельной зависимостей для регионов Полесье и Северо-Восток, как лесистых регионов, обусловлены фактором потребления пищевых продуктов леса. Заниженные экспериментальные значения для всех регионов, по сравнению с модельными зависимостями, в первый период времени, как указывалось в работе [5], могут быть интерпретированы как влияние «фактора контрмер».

Разработанная в данной работе двухэкспоненциальная модель динамики дозы внутреннего облучения во времени может быть успешно применима для оценки текущих и накопленных доз внутреннего облучения, что подтверждается статистическим анализом (таблица1). Удобство модели заключается в ее формализации, использование 2-х экспонент позволяет учесть различные закономерности формирования дозы в разные временные отрезки после аварии. Вторая экспонента практически может использоваться для целей прогноза на довольно длительный период.

### Литература

1 Реконструкция среднегрупповых и коллективных накопленных доз облучения жителей населенных пунктов Беларуси, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС: утв. гл. сан. вр. Республики Беларусь В.И. Ключеновичем 30.06.2002 г. – Минск, 2002. – 41 с.

2 Власова, Н.Г. Статистический анализ результатов СИЧ-измерений для оценки дозы внутреннего облучения сельских жителей в отдаленный период аварии на ЧАЭС / Н.Г. Власова, Д.Н. Дроздов, Л.А. Чунихин // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2009. – №4. – С. 397-406.

3 Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь / Н.Г. Власова [и др.]; утв. М-стром здравоохранения Республики Беларусь 7.07. 2009 г. – Гомель: РНПЦРМиЭЧ, 2009. – 86 с.

4 Дроздов, Д.Н. Динамика изменения дозы внутреннего облучения в зависимости от урожайности дикорастущих грибов / Д.Н. Дроздов, Л.А. Чунихин // Сб. научн. тр. Институт Леса НАН РБ, 2013. – С. 451-460.

5 Чунихин, Л.А. Оценка средних эффективных накопленных доз внутреннего облучения жителей РБ, проживающих на загрязненных черновыльскими радионуклидами территориях по результатам СИЧ-измерений с 1987г. / Л.А. Чунихин, Д.Н. Дроздов // Радиационная биология и радиоэкология. – 2012. – том 52. – № 2. – С. 167-174.

### **TWO-EXPONENTIAL MODEL FOR ASSESSMENT THE ANNUAL&ACCUMULATED INTERNAL DOSES FOR POPULATION AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT.**

*Chunikhin L.A., Drozdov D.N.*

The annual and accumulated internal doses model for the aims of the assessment& prediction was developed. It was based on the WBS- measures taken from RCRM Data Base. It was showed that the dose trends in time are different in the Belarus regions: Polesye, Noth- East, Center. The experimental data were approximated with two-exponential functions. The model parameters were: first exponent  $T_{1/2}$  - 3-5 years, second exponent- 12-31 years. The differences were explained of the «

forest foods» influence. The developed model has the high level correlation factors: 0.78-0.88.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМЕ КАРАСЯ  
СЕРЕБРЯНОГО (*CARASSIUS AURATUS GIBELIO* BLOCH),  
ВЫЛОВЛЕННОГО В МЕЛИОРАТИВНОЙ СЕТИ ПОЛЕССКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
ЗАПОВЕДНИКА**

*Иванцов Д.Н., Гулаков А.В.*

*Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,  
Хойники, Республика Беларусь.*

*УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»,  
Республика Беларусь.*

Техногенная катастрофа, произошедшая 26 апреля 1986 года на четвертом энергоблоке Чернобыльской атомной электростанции, явилась крупнейшей ядерной катастрофой прошлого века и отнесена к 7 (наивысшему) уровню по шкале ядерных аварий. Выброс радионуклидов продолжался с 26 апреля до 16 мая 1986 года [1].

Неравномерный характер выбросов радионуклидов из разрушенного реактора, сложная траектория движения воздушных масс, различия в выпадении атмосферных осадков, ландшафтных и микроклиматических условий привели к формированию чрезвычайно пятнистого загрязнения территорий. Это привело к значительному радиоактивному загрязнению искусственными, биологически значимыми радионуклидами внутренних водоемов Беларуси, Украины и России, находящихся в ближней зоне влияния аварии, а также некоторых водных экосистем, расположенных на расстоянии сотен километров от разрушенного реактора [2].

Большинство радиоактивных осадков выпало на территории водосбора реки Припять, которая составляет важный компонент системы Днепра и днепровских водохранилищ, одной из наиболее крупных систем поверхностных вод в Европе.

Возросший в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС радиационный фон стал одним из дополнительных экологических факторов в водных экосистемах Европы. На водосборных территориях Днепра и Припяти вследствие Чернобыльской катастрофы сформировалась обширная зона радиоактивного загрязнения, что привело к поступлению радионуклидов во многие рыбохозяйственные водоемы.

Радиоэкологические исследования выявили высокие уровни удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  во многих водоемах Республики Беларусь, расположенных даже на значительном расстоянии от места аварии [3].

После выпадения радиоактивных осадков относительно долгоживущие  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , находящиеся в грунте водосборных площадей, медленно переходят в воду водоемов в результате эрозии частиц грунта и десорбции из грунта. Темпы перехода определяются влиянием степени почвенной эрозии, силой фиксации радионуклида в грунте водосборных площадей и его миграции вниз по почвенному профилю.

До настоящего времени существуют водоемы с высокими уровнями удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в гидробионтах, в частности рыбах. Радионуклиды вовлекаются в биогеохимические циклы и, мигрируя по пищевой сети, накапливаются верхними трофическими уровнями, которые в большинстве пресноводных экосистем занимают рыбы – один из объектов питания человека.

Гидрографическая сеть Полесского заповедника представляет собой разветвленную систему каналов, озер старичного типа, мелких рек и водотоков, а также болот и затоплений и занимает 6,2 % площади Заповедника (13,4 тыс. га). Река Припять является основной водной артерией пересекающей территорию заповедника с северо-запада на юго-восток и впадающая в Киевское водохранилище. В пойме Припяти расположено большое количество мелких продолговатых озер, представляющих собой замкнутые участки старого русла, затоны, рукава и другие естественные речные образования, постепенно превращающиеся в озера пойменного типа [4].

На территории Полесского заповедника и примыкающих к нему землях находится 15 мелиоративных систем общей площадью 56 тыс. га из которых 21 тыс. га осушено закрытым дренажом. Протяженность открытой сети составляет 4952 км, закрытой – 6574 км. В мелиоративную систему входят гидротехнические сооружения, к которым относятся перепады, быстротоки, шлюзы, дамбы, мосты а также противопожарные водоемы и каналы.

В северной части Заповедника с левого берега в Припять впадает Погонянский канал, водосбор которого расположен на территории Беларуси. С ним связана основная сеть мелиоративных каналов. В настоящее время Погонянский канал в бывшем населенном пункте (б.н.п.) Борщевке перекрыт, сток в реку Припять поступает только с приустьевой части его водосбора.

На правобережье Припяти осушительная сеть практически отсутствует, за исключением Михалевского канала, впадающего в реку Желонь.

Основной целью работы, являлось проведение анализа активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в наиболее распространенных видах пресноводных рыб, обитающих на территории с высоким уровнем радиоактивного загрязнения.

Исследования выполнялись в течении 2017 г. на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. Исследовался канал (часть мелиоративной сети) вблизи б.н.п. Оревичи [5].

Канал вблизи б.н.п. Оревичи, собственного географического названия не имеет, среди населения, до аварии проживавшего на прилегающей

территории, носил название «канал Оревичский». Находится приблизительно в 40 км на юго-запад от г. Хойники, и в 1,2 км от б.н.п. Оревичи. Соединён с водоемом закрытого типа - озером Лядо. На востоке мелиоративный канал, связан с Погонянским каналом.

Отлов рыб произведен в мае 2017 года. В качестве орудий лова были использованы сети трехстенные «Нептун» длина 30 м, высота 1,8 м с размером ячеи 30 мм (1 шт.) и 40 мм (1 шт.). На канале был обловлен участок 0,5 км вблизи б.н.п. Оревичи [6].

В ходе исследований был проанализирован представитель ихтиофауны, относящийся к бентофагам – карась серебряный (*Carassius auratus gibelio* Bloch). Всего исследовано 27 особей 3-7 лет, выловленные в один день 11 мая 2017 года.

Определение видов и анализ биологических показателей рыб проводился общепринятыми в ихтиологических исследованиях методами [7–9].

При исследовании плотности загрязнения территории водосбора проводился отбор смешанных образцов почвы стандартным пробоотборником диаметром 4 см на глубину 20 см. Донные отложения отбирались на расстоянии 50 – 100 см от уреза воды на глубине 30 – 50 см с помощью стандартного пробоотборника.

Для спектрометрического анализа отбирались биологические образцы (мышцы, кости, икра). Определение удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в рыбе проводили гамма-спектрометрическим методом. Радиоспектрометрический анализ рыб проведен в лаборатории спектрометрии и радиохимии Полесского государственного радиационно-экологического заповедника с использованием гамма-бета спектрометра МКС-АТ1315 и гамма-спектрометра «Canberra». Удельная активность радионуклидов в рыбах приводится в килобеккерелях на килограмм (кБк/кг) сырой массы. Статистическая и графическая обработка результатов измерений проводилась с использованием пакета прикладных программ Excel.

Карась серебряный – вид пресноводных рыб, относящихся к семейству Карповых (*Cyprinidae*). На территории Беларуси акклиматизация серебряного карася начата с 1948 г. Всего было зарыблено 148116 га водной площади. Посадочный материал был получен в 1948 г. из бассейна Амура (1000 штук производителей) и из Саввинского рыбопитомника (1200 штук) [10].

Карась серебряный, как и карась обыкновенный, предпочитает водоемы со стоячей водой или замедленным течением и заиленным дном. Успешно переносит заморы. Постоянно ведет придонный образ жизни. Достигает половой зрелости в возрасте 3-4 лет, в отдельных водоемах, с благоприятными условиями, он может быть половозрелым уже в возрасте 2 лет. Нерест растянут с конца мая по август, может происходить от одного до трёх раз за год, в зависимости от температуры воды. Как правило, самцов бывает в 4-6 раз меньше, чем самок. В некоторых водоёмах популяция серебряного карася представлена только самками. Серебряный карась

питается донными организмами, зоо- и фитопланктоном, а также растительными кормами. Зимой карась серебряный не питается.

Уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в рыбах зависят от многих факторов, основными из которых являются: уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в воде и компонентах водоема, физико-химическая форма нахождения  $^{137}\text{Cs}$  в водоеме, концентрация в воде стабильных элементов-аналогов, проточность водоема, масса особи (возраст), трофический уровень (тип питания) и физиологические особенности накопления радионуклида в органах и тканях [1].

Существует зависимость между удельной активностью  $^{137}\text{Cs}$  в рыбах и загрязнением  $^{137}\text{Cs}$  прилегающих территорий. Чем выше загрязнение  $^{137}\text{Cs}$  местности, на которой расположен водоем, тем выше уровни удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  у всех компонентов водоема, в том числе и у рыб.

Плотность загрязнения территории водосбора и донных грунтов исследуемого водного объекта представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Средняя плотность радиоактивного загрязнения почвы территории водосбора и донных отложений, в канале вблизи б.н.п. Оревичи на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника кБк/м<sup>2</sup>

	Плотность радиоактивного загрязнения, кБк/м <sup>2</sup>		
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{241}\text{Am}$
Территория водосбора	1427,7±285,5	131,9±30,9	8,3±1,9
Донные грунты	390±78	48,8±14,4	1,9±0,5

Средняя плотность загрязнения почвы прилегающей территории для мелиоративного канала вблизи б.н.п. Оревичи составляла по  $^{137}\text{Cs}$  1427,7±285,5 кБк/м<sup>2</sup>, по  $^{90}\text{Sr}$  131,9±30,9 кБк/м<sup>2</sup>.

В таблице 2 приведены результаты анализа содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани рыб, выловленных в канале.

Таблица 2 – Удельная активность радионуклидов в мышечной ткани карася серебряного выловленного в канале вблизи б.н.п. Оревичи на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, кБк/кг

Радионуклид	Объем выборки n	Среднее значение	Минимальное, максимальное значение
$^{137}\text{Cs}$	27	1,8±0,42	0,8 – 3,58

В исследуемых образцах содержание  $^{90}\text{Sr}$  в мышечной ткани находилось ниже минимальной детектируемой активности – <100 Бк/кг.

В таблице 3 приведены результаты анализа содержания радионуклидов в

костной ткани рыб, выловленных в канале

Таблица 3 – Удельная активность радионуклидов в костной ткани карася серебряного выловленного в канале вблизи б.н.п. Оревичи на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, кБк/кг

Радионуклид	Объем выборки n	Среднее значение	Минимальное, максимальное значение
$^{137}\text{Cs}$	27	$1,04\pm 0,27$	0,27–2,33
$^{90}\text{Sr}$	26	$0,47\pm 0,14$	0,28–0,87

$^{90}\text{Sr}$  накапливался, в основном, в костной ткани исследуемого вида рыб, где его средняя удельная активность составила у карася  $0,47\pm 0,14$  кБк/кг.

Распределение  $^{137}\text{Cs}$  в организме 10 особей карася выловленных в мелиоративном канале вблизи б.н.п. Оревичи представлены на рисунке 1.

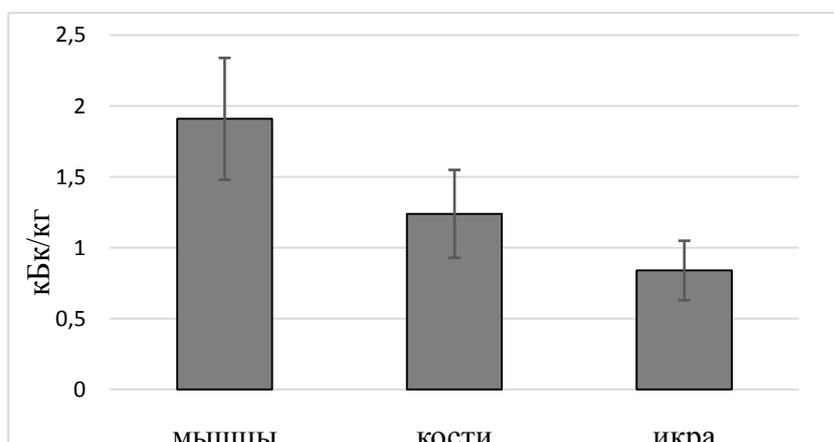


Рисунок 1 – Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в органах и тканях карася серебряного (n=10), выловленного в мелиоративном канале вблизи б.н.п. Оревичи.

Как видно из представленных данных (рисунок 1),  $^{137}\text{Cs}$  в организме исследуемых особей карася серебряного, выловленного в мелиоративной сети, аккумулируется неравномерно. Наибольшие уровни накопления радионуклида наблюдаются в мышцах –  $1,91\pm 0,43$  кБк/кг, наименьшие в икре –  $0,84\pm 0,21$  кБк/кг.

Исследования, проведенные в водоемах, загрязненных после катастрофы на Чернобыльской АЭС обнаружили, что у рыб одного вида в более крупных особях удельное содержание  $^{137}\text{Cs}$  больше, чем в экземплярах меньших размеров. Этому явлению было дано наименование «размерный эффект» [1]. Обычно положительный размерный эффект регистрировался в рыбах высших трофических уровней – ихтиофагах и рыбах смешанного типа питания, с увеличением возраста переходящих на облигатное хищничество.

Для минимизации возможности влияния действующих факторов и получения более достоверных результатов, проанализирована зависимость

между массой особи и удельной активностью  $^{137}\text{Cs}$  в мышцах карасей, изъятых за максимально короткий отрезок времени рисунок 2.

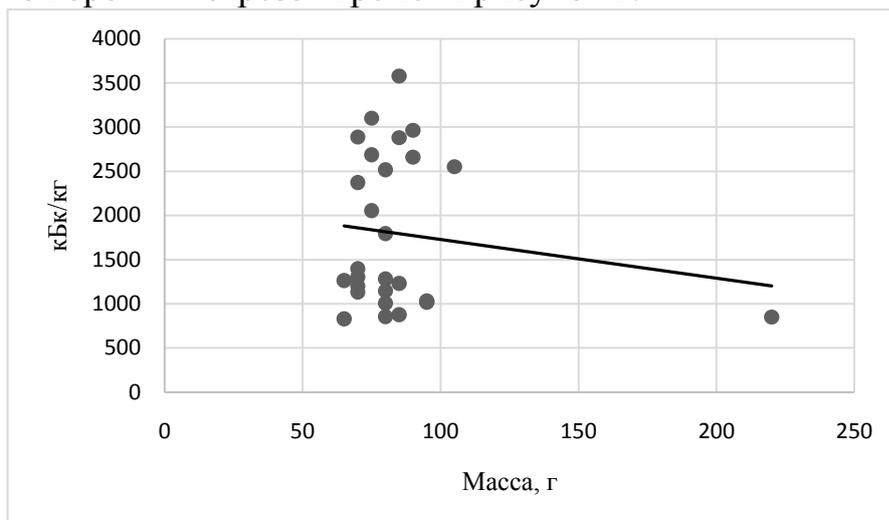


Рисунок 2 – Зависимость накопления  $^{137}\text{Cs}$  от массы тела карася серебряного выловленного в мелиоративном канале вблизи б.н.п. Оревичи 11.05.2017 г. (n=27), (кБк/кг). Приведены линейные тренды.

Положительный размерный эффект в содержании  $^{137}\text{Cs}$  в мышцах карася на исследуемом участке мелиоративного канала не зарегистрирован.

Таким образом, за время проведения исследований нами было исследовано 27 особей карася серебряного, выловленных в мелиоративной сети Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, на участке канала вблизи б.н.п. Оревичи.

$^{90}\text{Sr}$ , являясь остеотропным радионуклидом, накапливался, в основном, в костной ткани исследуемых рыб, где его средняя удельная активность составила  $0,47 \pm 0,14$  кБк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  напротив накапливался в большей степени в мышечной ткани. Так удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани была примерно в 2 раза выше чем в икре и 1,5 раза выше чем в костной ткани.

В карасе серебряном, выловленном на исследуемом водном объекте, не обнаружена положительная зависимость содержания  $^{137}\text{Cs}$  от массы особи («размерный эффект»). Установлено, что удельное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в мышцах карася серебряного, выловленного в канале, не зависит от массы особи.

На территории зоны отчуждения существуют водоемы характеризующиеся высокими уровнями накопления радионуклидов обитающими в них представителями и ихтиофауны, в особенности это небольшие непроточные водоемы, такие как исследуемый мелиоративный канал, где содержание радионуклидов у рыб значительно выше чем в водных объектах с повышенным водообменном.

### Литература

1. Рябов, И.Н. Радиэкология рыб водоемов в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС / И.Н. Рябов. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. – 215 с.

2. Кузьменко, М.І. Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах / М.І. Кузьменко, Д.І. Гудков, С.І. Кіреєв – К.: Наукова думка, 2010. – 263 с.

3. Соботович, Э.В. Естественная защищенность природных вод от загрязнения техногенными радионуклидами Чернобыльского выброса / Э.В. Соботович // I Международная рабочая группа по тяжелым авариям и их последствиям, 30 октября – 3 ноября 1989 г., Дагомыс, Сочи. – М.: Наука, 1990. – С. 144 – 152.

4. Жуков, П.И. Рыбы Белоруссии / П.И. Жуков – Мн.: Наука и техника, 1963. – 416 с.

5. Иванцов, Д.Н. Радиоактивное загрязнение ихтиофауны водоемов, расположенных на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / Д.Н. Иванцов, А.В. Гулаков // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф.Скорины. Естественные науки. – 2016. – №6 (99). – С. 18 – 23.

6. Гашев, С.Н. Методика комплексной оценки состояния сообществ и популяций доминирующих млекопитающих, амфибий и рыб / С.Н. Гашев, Н.А. Сазонова, А.Г. Селюков, О.А. Хританько, С.И. Шаповалов – Тюмень: ТюмГУ, 2005. – 94 с.

7. Жуков, П.И. Справочник по экологии пресноводных рыб / П.И. Жуков – Мн.: Наука и техника, 1988. – 310 с.

8. Правдин, И.Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин – Москва: Пищевая промышленность, 1966. – 376 с.

9. Брюзгин, В.Л. Методы изучения рыб по чешуе, костям и отолитам / В.Л. Брюзгин – Киев: Наук. думка, 1969. – 187 с.

10. Пенязь, В.С. Биология рыб водоемов Белорусского Полесья / В.С. Пенязь, Т.М. Шевцова, Т.И. Нехаева / Минск: изд-во «Наука и техника», 1973. – 240 с.

**DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES IN THE BODIES OF SILVER CRUCIAN CARP (*CARASSIUS AURATUS GIBELIO* BLOCH), CAUGHT IN THE MELIORATION NETWORK ON THE TERRITORY OF POLESYE STATE RADIATION-ECOLOGICAL RESERVE**

*D.N. Ivantsov, A.V. Gulakov*

The article gives the data on  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  activity in the bodies of fresh water fish, inhabiting the melioration network, located on the territory with high levels of radioactive contamination. 27 specimens of fish. Obtained are the results on activity concentration and distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in the studied specimens,  $^{90}\text{Sr}$  concentration in bone tissue, and also the contamination density of soil in the adjacent territory of the water reservoir.

## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*Марченко Ю.Д., Калиниченко С.А., Ненашев Р.А., Головешкин В.В.*

*Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,  
г.Хойники, Республика Беларусь*

**Введение.** С момента организации, в 1996 году, в ближней зоне Чернобыльской АЭС радиационно-экологического стационара идут многолетние изучения динамики мощности дозы гамма-излучения, прослеживается вертикальная миграция радионуклидов по почвенному профилю, оценивается их распределение по элементам рельефа, определяются уровни загрязнения грунтовых вод и донных отложений. Проводятся комплексные мониторинговые исследования на модельных площадках, ранее подвергнутых дезактивации различными методами [1], а также исследования направленные на изучение темпов вторичного радиоактивного загрязнения почвенного и растительного покровов. Изучаются закономерности распределения радионуклидов между различными компонентами наземных и водных экосистем и идет разработка методов прогноза радиационной обстановки в отдалённый период после аварии на Чернобыльской АЭС. Таким образом, проведение радиоэкологических исследований в ближней зоне Чернобыльской АЭС посвящены изучению состояния различных компонентов природных биогеоценозов, выявлению закономерностей миграции и накопления радионуклидов, прогнозу развития радиационной обстановки.

Мониторинговые исследования позволяют выявлять закономерности изменения радиационной обстановки на загрязненной территории и следить за развитием экосистем в этих динамических условиях. Известно, что основой радиоэкологического мониторинга, является первичная экспериментальная информация. Источником этой информации являются как непосредственные наблюдения и измерения, проводимые на объекте, так и отбираемые пробы исследуемого объекта [2]. Следует отметить, что месторасположение стационара изначально делает его уникальным полигоном для радиоэкологических исследований [3], здесь ежегодно проводятся комплексные исследования, охватывающие основные направления программ научной части заповедника, договорные работы и международные проекты по проблемам зоны отчуждения.

Близость к аварийному 4-му блоку Чернобыльской АЭС, сложная динамика длительного выброса радиоактивных веществ, метеорологические условия, характеризовавшиеся неоднократными изменениями направления и скорости ветра, выпадениями осадков, обусловили высокие уровни, сложный радионуклидный состав и неоднородность радиоактивного загрязнения территории. Ландшафтные особенности, в том числе лесные массивы, водные системы также оказали влияние на характер распределения радиоактивных выпадений [4].

Материалы и методы. Объектами изучения, являются компоненты биогеоценозов ближней зоны аварии – это приземный слой атмосферы, почва разных типов и разной степени увлажнения, живой напочвенный покров и подстилочный слой почвы, поверхностные и грунтовые воды, донные отложения и гидробионты.

Радиоэкологические исследования проводятся в соответствии с нормативно-методической документацией по мониторингу радиоактивного загрязнения природной среды с использованием методик по мониторингу радиоактивного загрязнения почвы; поверхностных вод; организации и ведения радиационного мониторинга в лесах; методики проведения радиационного обследования лесных насаждений на территории заповедника; инструкции по проведению обследования участков заготовки продукции лесного хозяйства или сырья, отбору и подготовке проб растительного и животного происхождения для контроля радиоактивного загрязнения. Производство метеорологических наблюдений в соответствии с техническим кодексом установившейся практики – «Правила проведения приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях».

В зависимости от целей и задач исследований может быть использован и ряд других радиоэкологических и биологических методов.

**Результаты и их обсуждение.** В текущем пятилетии в комплексных исследованиях по заданию «Перераспределение радионуклидов по компонентам природной среды» для оценки закономерностей миграции и накопления радионуклидов в различных звеньях наземных и водных экосистем, прогноза развития радиационной обстановки в ближней зоне аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленный период решаются следующие основные задачи:

– проводятся исследования параметров латеральной миграции  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$  на территории зоны отчуждения в зависимости от типа формирования градиентов концентрации (элювиальные, трансэлювиальные и трансэлювиально-аккумулятивные геохимически сопряжённые ландшафты);

– изучаются закономерности вертикального перераспределения радионуклидов в почвах различных типов и режима увлажнения основных фитоценозов ближней зоны аварии на ЧАЭС и устанавливаются особенности накопления радиоактивных веществ, произрастающей на них растительностью;

– изучается динамика накопления  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$  потенциальной пищевой продукцией естественных биогеоценозов (шляпочные грибы, берёзовый сок и др.) на территории зоны отчуждения;

– исследуются закономерности миграции радионуклидов по компонентам водных экосистем (почва территории водосбора, донные отложения, вода, макрофиты, моллюски, рыба) в зависимости от типа водоема в зоне отчуждения;

– оценивается флуктуация накопления  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  высшими водными растениями водоёмов на территории зоны отчуждения;

– готовится прогнозная оценка развития радиационной обстановки для водоемов ближней зоны аварии на ЧАЭС;

– проводится анализ динамики и дается прогноз изменения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на объектах постоянной реперной сети в зоне отчуждения;

– оценивается состояние и изменение режима погоды в ближней зоны аварии Чернобыльской АЭС.

К настоящему времени уже изучен характерный для территории ближней зоны Чернобыльской АЭС режим погоды в многолетнем разрезе, оценена его пространственно-временная изменчивость за период инструментальных наблюдений. Выделены свойственные особенности, связанные с сильным влиянием местных факторов, в том числе и от физико-географических условий местности. Проведение радиоэкологических исследований вызывает необходимость постоянного наблюдения за физическими процессами, происходящими в атмосфере и на поверхности земли. Так при комплексном изучении динамики мощности дозы гамма-излучения (МД) установлена тенденция стабилизации радиационной обстановки и влияния на нее биологических и погодноклиматических особенностей учетного года. Установлено, что снижение МД определяется миграцией радионуклидов вглубь почвенного профиля, вследствие чего происходит экранирование излучения верхними слоями почвы, почвенной влагой и растительностью. Было показано значительное влияние изменения количества почвенной влаги на величину МД. В засушливые периоды МД возрастает в среднем на 6 %, а в сезонной динамике самые заметные изменения наблюдаются в зимние месяцы, что связано с толщиной и плотностью снежного покрова. В настоящее время МД и плотность потока бета-частиц на территории ближней зоны остаются стабильно высокими.

Проведен статистический анализ результатов, полученных при изучении пространственного распределения  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{241}\text{Am}$  в гидроморфной и автоморфной почве различных фитоценозов и определены коэффициенты вариации их содержания. Поскольку распределение  $^{137}\text{Cs}$  ближе всего по своим параметрам к нормальному закону, то можно говорить об определенной стабилизации обстановки, на которую влияние будет оказывать в большей степени только физический распад. В отношении  $^{90}\text{Sr}$  обстановка представляется наиболее сложной, что связано с выходом его из матрицы топливных частиц и увеличении доли подвижных форм. Скорость горизонтальной миграции  $^{241}\text{Am}$ , несмотря на продолжающееся увеличение его количества в почве, ниже, чем  $^{90}\text{Sr}$ , что связано с более низкой биогенной миграцией. Существенную роль в горизонтальном распределении радионуклидов играют структурные колебания микрорельефа, т.к. его выпуклые формы являются зонами сноса, а вогнутые – зонами накопления радиоактивных веществ.

При изучении вертикального распределения радионуклидов по профилю различных типов почв основных фитоценозов было показано, что

более быстро процесс миграции  $^{137}\text{Cs}$  в лесных фитоценозах протекает в почвах, формирующихся в условиях полугидроморфного и гидроморфного режимов увлажнения. Лесная подстилка этих почв содержит меньшую долю радионуклида (4,9 – 11,1 %), чем 5–10 см слой почвы (15,5 – 28,8 %), в отличие от распределения  $^{137}\text{Cs}$  в автоморфных почвах – 17,2 %, и 15,1 % соответственно. В верхнем 5-сантиметровом слое минеральной части почвы сосредоточена основная доля  $^{241}\text{Am}$  (64,5 – 78,2 %) и  $^{137}\text{Cs}$  (45,8 – 70,4 %), а в десятисантиметровом слое содержится от 67,2 до 81,8 %  $^{90}\text{Sr}$ . Методом корреляционного анализа данных, доказано, что величина скорости вертикальной миграции радионуклидов в почвах зависит от значения коэффициента увлажнения.

Сравнительная характеристика радиоактивного загрязнения ранее подвергнутых дезактивации площадок и контрольных участков выявила определенные различия как в общем уровне их загрязнения, так и в распределении содержания радионуклидов в почвенном профиле. Отмечено повышенное накопление радионуклидов в верхнем слое почвы дезактивированных площадок, которое может быть вызвано как биогенными процессами их перераспределения, так и поступлением дополнительного количества радионуклидов с примыкающих участков. Изучение динамики содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растительном покрове выявило, что через 12 лет, прошедших с момента дезактивации самое существенное снижение содержания радионуклидов в растениях обеспечивает метод удаления верхнего 30-см слоя грунта. Сопоставление величин коэффициентов перехода радионуклидов из почвы в травостой, полученных сразу же после проведения дезактивационных работ, с современными данными показывает, что произошло значительное уменьшение перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в травянистые растения с течением времени, что свидетельствует о заметном снижении биологической доступности этого радионуклида. В отношении  $^{90}\text{Sr}$  следует отметить, что к настоящему времени его подвижность в почве и доступность для растений не изменилась, а в некоторых случаях и увеличилась, так как этот радионуклид довольно слабо фиксируется почвенным поглощающим комплексом и в процессе разрушения топливных частиц произошло увеличение доли его мобильных форм в почве.

Оценка радиоэкологического состояния водных экосистем в ближней зоне Чернобыльской АЭС показала, что в настоящее время концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностных водах варьирует в пределах от 0,2 Бк/л (р. Припять) до 15 Бк/л (оз. Персток) в зависимости от степени проточности водоема. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  изменяется в интервале от 1 до 25 Бк/л. Концентрация  $^{241}\text{Am}$  в воде не превышает  $2 \times 10^{-2}$  Бк/л. Наиболее загрязненными являются воды старичных комплексов поймы р. Припять, а также полностью замкнутые водоемы, не имеющие прямого сообщения с рекой и расположенные в пределах 10-15 км от ЧАЭС. В целом содержание радионуклидов в поверхностных водах хорошо коррелирует с плотностью радиоактивного загрязнения территории водосбора. Установлено, что ежегодное уменьшение

уровня радиоактивного загрязнения территории водосборов за счет естественного смыва является незначительным и составляет в среднем 0,02 и 0,38 % от имеющегося запаса  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  соответственно. Именно поэтому процессы снеготаяния и дождей даже через 31 год после аварии не уменьшили существенно общее количество радионуклидов на водосборных территориях, а также не привели к значительному вторичному загрязнению водных систем. Последнее утверждение касается прежде  $^{137}\text{Cs}$ , и  $^{90}\text{Sr}$ , поскольку скорость снижения их концентрации за счет физического распада выше темпов поступления в водные экосистемы. Необходимо отметить, что постоянно увеличивается степень вторичного загрязнения замкнутых водоемов зоны отчуждения трансурановыми элементами с длительным периодом полураспада за счет их поверхностного смыва с прилегающих территорий.

Исследованы особенности накопления радионуклидов донными отложениями. Установлено, что среди всех компонентов водных экосистем, расположенных на территории зоны отчуждения, донные отложения являются главным хранилищем радионуклидов. Содержание  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$  в донных отложениях в среднем составляет 99 %, 92 %, 99,8 % соответственно от общего содержания этих радионуклидов в водоеме.

Определено, что содержание радионуклидов в донных отложениях хорошо коррелирует с их содержанием в почвах водосбора и загрязнением поверхностных вод, но средний уровень загрязнения донных грунтов, как правило, ниже, чем почвы береговой линии. В настоящее время для водоемов ближней зоны соотношение концентраций  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$  в донных отложениях составляет 1,0 : 0,16 : 0,01. Выявлена положительная корреляция между содержанием органического вещества в донных отложениях и их степенью радиоактивного загрязнения. В свою очередь, степень заиления донных отложений напрямую зависит от водного режима, увеличиваясь в водоемах с малой скоростью водообмена. Наибольшее количество радионуклидов в донных отложениях находится в литоральной, т.е. прибрежной зоне водоемов на глубинах вод до 1 метра. Наиболее загрязнен  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{241}\text{Am}$  верхний 10-см слой донных грунтов, однако степень проникновения радионуклидов в толщу донных отложений выше, чем наблюдаемые показатели для почв.

Сохраняющиеся в настоящее время высокие уровни радиоактивного загрязнения поверхностных вод и донных отложений водоемов зоны отчуждения обуславливают значительное накопление радионуклидов в растительных и животных организмах. В связи с этим сохраняется актуальность исследований степени биодоступности различных радионуклидов в зависимости от гидрологических параметров водоемов.

Нами исследованы закономерности накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  высшими водными растениями в зависимости от принадлежности к водоемам различного типа и экологической нише в занимаемом ими водном биоценозе. При этом анализировались и видовые особенности ВВР, что позволило

выявить виды аккумуляторы радиоактивных элементов. Так наиболее высокие абсолютные величины содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в течение всего периода наблюдений на оз. Персток были характерны для водокраса обыкновенного ( $^{137}\text{Cs}$  11,7 кБк/кг;  $^{90}\text{Sr}$  – 26,8 кБк/кг). Наименьшими значениями отличались группа полупогруженных растений – в отношении  $^{137}\text{Cs}$  это рогоз узколистный, удельная активность которого составила 0,41 кБк/кг, а  $^{90}\text{Sr}$  менее всего содержит тростник обыкновенный 1,7 кБк/кг. Установлены коэффициенты концентрирования  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  доминирующими видами высших водных растений. Выявлена обратная зависимость коэффициентов концентрирования от степени загрязнения донных отложений  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . При исследовании сезонной динамики отмечена тенденция увеличения содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в высшей водной растительности к окончанию вегетационного периода для всех экологических групп, и снижение к началу периода увядания, кроме полупогруженных растений, где наблюдалась обратная динамика. Были отмечены более высокие темпы поступления  $^{90}\text{Sr}$  в высшие водные растения.

Бентос как экологическая группа гидробионтов, обитающая в толще высокоактивных донных отложений, является наиболее важным элементом радиационного мониторинга. Так для моллюсков основным радионуклидом в настоящее время является  $^{90}\text{Sr}$  – химический аналог кальция, накапливающийся в раковинах и в значительных количествах присутствующий в водной растительности и донных отложениях водоемов. Выявлено повышенное содержание  $^{137}\text{Cs}$  у брюхоногих моллюсков в мягких тканях по отношению к раковине, что объясняется особенностью их питания. Накопление  $^{90}\text{Sr}$  в наиболее распространенных видах брюхоногих и двустворчатых моллюсков от 3-х до 168 раз выше, чем  $^{137}\text{Cs}$ .

Наиболее высокие уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в рыбе отмечаются во всех непроточных и малопроточных водоемах с уровнем загрязнения территории водосбора от 15 Ки/км<sup>2</sup> и выше.

Для видов рыб, обитающих в непроточных водоемах характерна максимальная концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в мышцах (до 18 кБк/кг), затем по мере убывания содержания радионуклида в организме рыб (до 2,6 кБк/кг) следуют водоемы поймы р. Припять, имеющие соединение с рекой.

Менее всего загрязнена рыба, обитающая в русле р. Припять (до 2,0 кБк/кг). В настоящее время доля особей рыб из реки в границах радиоэкологического стационара, у которых регистрируется превышение Республиканских допустимых уровней содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мышцах (свыше 370 Бк/кг) составляет около 50 % от всего обследованного количества.

Наиболее высоким уровнем накопления  $^{137}\text{Cs}$  в мышцах обладают хищные виды рыб (окунь, щука) и виды со смешанным типом питания (язь). В группу рыб со средней степенью накопления  $^{137}\text{Cs}$  входят перифитофаги (красноперка). Менее всего загрязнены представители видов-бентофагов (карась, лещ, густера). Накопление  $^{90}\text{Sr}$  в мышечной ткани разных видов рыб, обитающих в одном и том же водоеме, в десятки раз ниже, чем  $^{137}\text{Cs}$ .

Анализ содержания  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани и плавниках показали, что имеется тенденция к более интенсивному накоплению этого радионуклида у «мирных» видов рыб по сравнению с хищниками. Так, в скелете карася, линя, плотвы красноперки в среднем содержится  $^{90}\text{Sr}$  в 1,7 раз больше, чем у окуня и щуки. Противоположная зависимость наблюдается при анализе в костной ткани содержания  $^{137}\text{Cs}$ . Максимальные его концентрации обнаружены в костной ткани хищников (в среднем в 2 раза выше, чем у растительноядных и бентосных рыб).

Установлено, что усредненные значения коэффициента накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  относительно их концентрации в воде для мышечной ткани хищных и «мирных» видов рыб составляют в среднем  $960 \pm 41$ ,  $408 \pm 19$  и  $11 \pm 4$ ,  $9 \pm 2$  соответственно. Для костно-хрящевой ткани хищных и «мирных» видов рыб величина КН составляет в среднем  $619 \pm 76$ ,  $290 \pm 39$  и  $206 \pm 35$ ,  $359 \pm 60$  соответственно.

В целом процессы автореабилитации замкнутых водоемов зоны отчуждения происходят крайне медленно, в результате чего гидробионты и по сей день характеризуются высоким уровнем радиоактивного загрязнения.

**Заключение.** Материалы комплексного изучения отдельных компонентов природной среды и их совокупности, полученные в ходе выполнения комплексных радиоэкологических исследований, дают возможность сформировать целый ряд практических мероприятий. Итоги проводимых исследований необходимы для оценки направленности и скорости процессов миграции радионуклидов в биогеоценозах ближней зоны. Данные по загрязнению радионуклидами водосборов, воды, донных отложений, макрофитов и гидробионтов этих водоемов, послужат исходным материалом для создания моделей развития радиологической ситуации на водоемах, подвергшихся загрязнению в результате аварии на ЧАЭС.

Таким образом, реализовывался комплекс работ, охватывающий основные направления программ научной части заповедника, договорные работы и международные проекты по проблемам зоны отчуждения касающихся в формировании радиационной обстановки, оценки интенсивности и направленности процессов миграции, накопления и перераспределения радионуклидов в различных звеньях биогеоценозов зоны отчуждения. Только за последние пять лет по данной тематике нами было опубликовано 57 научных работ.

Состав и специфика радиоактивного загрязнения территории ближней зоны Чернобыльской АЭС позволяют ее рекомендовать в качестве международного научного полигона для проведения исследований в области радиоэкологии и радиобиологии, изучения биогеохимических циклов долгоживущих радионуклидов в биогеоценозах.

## Литература

1. Марченко Ю.Д. Влияние дезактивации земельных участков методом тройного перекапывания на поступление  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в растения

естественного возобновления // Сахаровские чтения 2007 года: экологические проблемы XXI века: материалы 7-й межд. науч. конф., 17-18 мая 2007 года, г. Минск, Республика Беларусь / под ред. С.П. Кундаса, С.Б. Мельнова, С.С. Позняка. Мн.: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2007. С. 164.

2. Хомутин Ю.В., Кашпаров В.А., Жебровская Е.И. Оптимизация отбора и измерений проб при радиоэкологическом мониторинге: Монография. Киев: УкрНИИСХР, 2001. – 160 с.

3. Евдокимов В.Н., Марченко Ю.Д. 10 лет исследовательской станции Масаны им. В.Н. Фёдорова: итоги и перспективы //20 лет после Чернобыльской катастрофы. Сб. науч. трудов. Гомель: РНИУП Институт радиологии, 2006. С. 15-21.

4. Цыбулько Н.Н., Анципов Г.В. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник – задачи специфика и перспективы развития // Практика, проблемы и перспективы особо охраняемых природных территорий республики Беларусь и Российской Федерации (заседание двадцать девятое, г. Брест, 14-15 июня 2012 года) / Под ред. С.Г. Стрельченко. Мн.: Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси, 2012. С. 283-293.

**Radioecological research in the near zone of the Chernobyl NPP**  
*Marchenko Y.D., Kalinichenko S.A, Nenashev R.A, Goloveshkin V.V*

In this work the principles of organization of radioecological studies in the near zone of the Chernobyl NPP and the latest area of research are shown. Brief summarizing results in the field of the formation of the radiation situation, the analysis of intensity and direction of migration processes, accumulation and redistribution of radionuclides in different links of biogeocenoses in the exclusion zone.

**ЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ ТУРИЗМ  
КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ УСТОЙЧИВОГО ВОЗРОЖДЕНИЯ И  
РАЗВИТИЯ ПОСТТРАДАВШИХ ТЕРРИТОРИЙ:  
ОТ ЗОНЫ – К МЕСТУ ВСЕМИРНОГО НАСЛЕДИЯ ЮНЕСКО**

*Мирный С.В.*  
*«ЧЕРНОБЫЛЬ ТУР», Киев, Украина*

Чернобыльский туризм (ЧТ) – то есть посещения с познавательной и рекреационной целью закрытой Чернобыльской зоны (далее ЧЗ) отчуждения и обязательного отселения, образованной после взрыва 4-го реактора ЧАЭС 26.04.1986 и последовавшего за ним радиоактивного загрязнения местности – за последние два десятилетия стал масштабным, развитым явлением,

качественно новым в мировой практике. Данный доклад – первая попытка комплексного рассмотрения этого явления, являющегося частным и наиболее показательным случаем туризма в зону после крупномасштабных радиационных аварий, а именно Чернобыля и Фукусимы. Теоретически обосновывается необходимость и возможность этого вида деятельности в послеаварийной зоне, анализируется и обобщается опыт туризма в украинскую часть Чернобыльской зоны. Показано, что туризм является одним из неотъемлемых и важных элементов системы ликвидации негативных последствий радиационных аварий, закрепления и популяризации их уроков, реабилитации пострадавших групп населения и возрождения как самой зоны так и прилегающих пострадавших территорий.

### **Истоки чернобыльского туризма (~1998 г.)**

Первое систематическое, мультидисциплинарное исследование реального состояния здоровья чернобыльских ликвидаторов и его настоящих причин<sup>1</sup>, охватывающее как радиационные так и нерадиационные факторы, как факторы действовавшие на ликвидаторов в Зоне так и в последующей жизни – показало, что львиная доля негативных последствий Чернобыля для абсолютного большинства ликвидаторов вызвана не радиобиологическим фактом ионизирующего облучения их организма, а психологическими и социальными воздействиями на них, которые ассоциированы с этим фактом. Как оказалось, наиболее полно описывает эти воздействия и их эффекты концепция психологической травмы (часто более узко трактуемой как пост-травматический синдром, *the PTSD (post-traumatic stress disorder)*). Данный вывод позволил подключить весь мировой опыт залечивания психологической травмы, который неспецифичен к ее первопричине и имеет универсальный характер.

В частности, известно, что мемориализация события травмы, в зависимости от того, что увековечивается – только ли страдание, боль и утрата, или же и их смысл, преодоление травмирующего события – может или закреплять травму и ухудшать здоровье травмированных, или же наоборот способствовать их излечению, укреплять их здоровье. Самый мощный, очевидный, известный мемориал Чернобылю – это сама Чернобыльская зона. И, как закрытое, неиспользуемое на благо общества, «навсегда утраченное» пространство, как «мертвая безжизненная Зона на тысячи лет» (а именно так она в основном воспринимается в массовом общественном сознании) – и тем самым в частности как символ поражения армии ликвидаторов, бессмысленности их усилий и жертв – эта Зона с ее теперешней функцией и символическим значением служит мощнейшим психотравмирующим фактором.

Вывод: надо расширять способы использования Зоны, дополняя их более позитивными, «не-чрезвычайными», менять ее смысловое и символическое значение. На что? – Так в этой работе 1998 году возникла

---

<sup>1</sup> [http://www.mirnyi.arwis.com/book\\_2/contents\\_he\\_e.html](http://www.mirnyi.arwis.com/book_2/contents_he_e.html)

идея Чернобыльского (мемориально-культурного и природного) национального парка<sup>2</sup>, естественным элементом которого являлся бы туризм.

По совпадению, в это же самое время чисто стихийно, независимо от этих академических изысканий в Украине начался чернобыльский туризм как вид коммерческой активности. В ответ на спрос, на интерес к этому самому знаменитому месту Украины, месту всемирной истории – Чернобыльскую зону начали посещать не только официальные и профессиональные делегации, но и «делегации общественности», а попросту говоря туристы.

### **Насколько радиационно-безопасны кратковременные посещения Зоны?**

Радиационная ситуация в ЧЗ с 1986 количественно изменилась радикально. Мощность гамма-излучения уменьшилась в самых загрязненных местах (например, Рыжий Лес) – в 1000-10000 раз, а в менее загрязненных (практически везде вне 10-километровой зоны, и в значительной части самой этой зоны) уже вернулась к доаварийным значениям. Это дополняется позитивной универсальной качественной закономерностью радиационного загрязнения: чем выше уровень радиации – тем меньшую площадь он занимает.

Поэтому неудивительно, что за день типичной автобусно-пешеходной экскурсии в Зону туристы получают гамма-дозу в пределах 2-4 мкЗв; за авиаперелет средней продолжительности пассажиры получают бóльшую дозу от космического гамма-излучения. Что касается внутреннего облучения, то проведенные в 2017 году обследования гидов «ЧЕРНОБЫЛЬ ТУР», проводивших около 100 и больше дней в ЧЗ, на прецизионном экспертном счетчике излучений человека СИЧ – показали, что содержание радиоактивного цезия в их организмах находится в пределах нормы для жителей города Киева.

### **Радиационная дозиметрия туров в ЧЗ**

является их обязательным компонентом, обеспечивает:

- радиационную (и психологическую) безопасность туристов
- образовательный эффект туров

и состоит из таких элементов:

- обязательное наличие дозиметра у гида группы
- наличие у самих туристов дозиметров, арендованных у туроператора
- возможность за дополнительную оплату пройти контроль содержания радиоактивного цезия в теле туриста после возвращения из тура.

### **Количественный рост чернобыльского туризма**

Год	Число групп	Число посетителей		Число стран
		Всего	Иностранцы	
2008	488	5476	ё	58
2009	605	7191	4375	64

<sup>2</sup> [http://www.mirnyi.arwis.com/book\\_2/appendix2.html](http://www.mirnyi.arwis.com/book_2/appendix2.html)

<b>2010</b>	763	<b>8369</b>	5804	67
<b>2011</b>	740	<b>9127</b>	6423	76
<b>2012</b>	1467	<b>14132</b>	10115	88
<b>2013</b>	1516	<b>17757</b>	13740	76
<b>2014</b>	---	<b>5714</b>	---	---
<b>2015</b>	---	<b>15064</b>	---	---
<b>2016</b>	---	<b>36781</b>	24492	---

Что касается черновбыльских туроператоров, то число их росло со временем. Но вследствие специализации и конкуренции произошел «отрыв» крупных профильных туроператоров от мелких и/или «случайных» для этой локации. Так, в 2016 году 7 наиболее крупных черновбыльских туроператоров свозили в ЧЗ более 80% посетителей. Из этой семерки лидер – «ЧЕРНОВБЫЛЬ ТУР» – свозил в Зону около четверти всего числа ее туристов, а замыкающий ее туроператор – около 4%.

#### **Экономический эффект черновбыльского туризма**

весьма значителен. Проведенное «ЧЕРНОВБЫЛЬ ТУР» в 2013 году исследование методом анкетирования черновбыльских туристов показало, что за 2013 год только туристы «ЧЕРНОВБЫЛЬ ТУР» влили в экономику Украины около 1 миллиона долларов США! Эта цифра включает не только (и даже, в долеом отношении, не столько) услуги ЧЗ и туроператора, сколько оплату питания, проживания, развлечений, транспорта, покупку сувениров и подарков домой, и пр. во время пребывания в Украине. Причем важно отметить, что согласно опросу, значительная часть черновбыльских туристов приехали в Украину в первую очередь для того, чтобы побывать в Чернобыле.

С учетом доли туристов «ЧЕРНОВБЫЛЬ ТУР» в 2013 году, почти двойного увеличения общего числа черновбыльских интуристов с 2013 по 2016 год, и принимая во внимание повышения курса доллара и евро по отношению к гривне, можно предположить, что сейчас ЧТ привлекает в Украину порядка 10 миллионов долларов инвестиций в экономику ежегодно.

#### **Качественный рост черновбыльского туризма**

Рост числа турпродуктов и числа типов этих продуктов:

- от общеознакомительных туров – к тематическим и профессиональным (для экологов, ядерщиков, студентов) – и к практическим тренингам по радиации, радиационному загрязнению и радиационному выживанию
- от 1-дневных – последовательно к 2-, 3- и много-(до 5- и 7-)дневных (люди ездят в Чернобыль в отпуск!)
- расширение числа туристических маршрутов<sup>3</sup>, включение в них новых объектов, в частности уникального комплекса загоризонтной радиолокационной станции времен Холодной войны с впечатляющими антеннами

<sup>3</sup> Сейчас, к сожалению, этот процесс временно приостановился.

- дроны у туристов
- воздушные маршруты (знакомство с Зоной с воздуха с небольших самолетов и вертолетов)
- работа над экспериментальным водным маршрутом Киев – Киевское водохранилище – река Припять – ЧАЭС – город Припять скоростного судна на подводных крыльях
- экскурсии на ЧАЭС.

Производство и продажа сопутствующих товаров, в том числе в инфо-центре для туристов, недавно открытом на КПП «Дитятки» открытым «ЧЕРНОБЫЛЬ ТУР» при поддержке ГАЗО и ГСП «Экоцентр»:

- карты (в частности, весьма популярна подготовленная научным подразделением «ЧЕРНОБЫЛЬ ТУР» полная топографическая карта Чернобыльской зоны масштаба 1:100000 на украинском и английском языках; в настоящее время используется также ГАЗО, пограничниками и полицией ЧЗ)
- тематическая мемуарная, художественная, научно-популярная и научная литература по теме
- тематические сувениры.

Растет число исследований чернобыльского туризма. Правда, сейчас это по преимуществу магистерские и бакалаврские дипломные работы выпускников университетов Европы, их число выросло до ~5 работ в год (в основном Швейцария, Польша, Скандинавия, Австрия, Германия).

#### **Придание Чернобыльской зоне и/или ее отдельным объектам статуса места Всемирного наследия ЮНЕСКО**

будет еще одним логичным, необходимым, обоснованным и весьма значимым шагом в преодолении негативных последствий Чернобыльской катастрофы, детравматизации места аварии и пострадавших групп населения, а также в закреплении и пропаганде ее уроков.

Необходимо помнить, что главная цель Списка Всемирного наследия ЮНЕСКО – сделать известными и сохранить объекты, которые уникальны в своем роде. Т.е. цели этого проекта ЮНЕСКО – это идентификация, популяризация, сохранение.

Статус места Всемирного наследия ЮНЕСКО дает ряд преимуществ:

- является дополнительной гарантией сохранности и целостности уникальных природных и культурных комплексов,
- повышает престиж территорий и управляющих ими учреждений,
- способствует популяризации включённых в Список объектов и развитию альтернативных видов природопользования (в первую очередь, экологического туризма),
- обеспечивает приоритетность в привлечении финансовых средств для поддержки объектов всемирного культурного и природного наследия, в первую очередь, из Фонда всемирного наследия,
- способствует организации мониторинга и контроля за состоянием сохранности природных объектов.

Чернобыль как событие и ЧЗ как территория – реальный кандидат в Список мест Всемирного наследия ЮНЕСКО. Существенно, что Чернобыль несомненно является событием всемирно-историческим, т.к он привел к ряду важнейших и долговременных последствий для всей земной цивилизации, изменил пути ее развития:

- положил конец «Холодной войне» - термо-/ядерному противостоянию тогдашних сверхдержав СССР и США, резко уменьшив (как минимум на десятилетия) угрозу термоядерной войны и риск уничтожения жизни на Земле

- прекратил фактически бесконтрольное со стороны общества расползание «мирной и абсолютно безопасной» ядерной энергетики

- породил подъем на качественно новый уровень экологического сознания и экологического движения во всем мире

- ускорил и стал одной из причин распада СССР – самой большой империи, которую когда-либо знала земная цивилизация; последствия этого распада, вероятно, будут определять ход истории цивилизации еще не одно столетие

- ускорил процесс глобализации

- положил начало:

- \* новому, более продвинутому этапу знакомства человечества с радиоактивным распадом и его позитивными и негативными сторонами,

- \* своеобразной культурной революции в восприятии, в том числе и особенно массовым сознанием, радиации и ее физико-биологических, психологических и социальных свойств

- \* пониманию информационных угроз современного глобального информационного общества, информационной природе *Homo sapiens* и человеческого общества.

Место этого всемирно-исторического события полностью соответствует критерию VI включения в Список мест Всемирного наследия ЮНЕСКО как культурное наследие: «Объект напрямую или вещественно связан с событиями или ... с идеями ... и имеет исключительную мировую важность». Только по одному этому критерию включены, например, Хиросима<sup>4</sup> («Мемориал Мира» – единственное уцелевшее после бомбардировки здание в эпицентре первой атомной бомбардировки), Освенцим<sup>5</sup> (нацистский концлагерь смерти в 1940-1945) и Зал Независимости США<sup>6</sup> (в котором были подписаны Декларация независимости и Конституция США, провозгласившие универсальные принципы свободы и демократии).

Кроме того, ряд уникальных сооружений ЧЗ, связанных с ликвидацией последствий аварии – например, «АРКА», или Новый безопасный конфайнмент, накрывающий Объект «Укрытие», больше известный как

---

<sup>4</sup> <http://whc.unesco.org/en/list/775>

<sup>5</sup> <http://whc.unesco.org/en/list/31>

<sup>6</sup> <http://whc.unesco.org/en/list/78>

Саркофаг, и скрытую ним руину 4-го реактора; бетоноперегрузочный узел с «чистых» бетоновозов на «грязные» при строительстве Саркофага; каскад ПУСО («пунктов специальной обработки»)-деактивации транспорта по мере его удаления от эпицентра) – предположительно подпадают под культурные критерии IV «Объект является выдающимся примером конструкции, архитектурного или технологического ансамбля или ландшафта, которые иллюстрируют значимый период человеческой истории». Этому критерию может также соответствовать покинутый 50-тысячный город-спутник ЧАЭС Припять – яркий и архитектурно нетронутый постсоветским строительством образец «города советской мечты», который сейчас постепенно разрушается и поглощается природой.

Пост-радиационная, пост-аварийная природа ЧЗ – свободно вздохнувшая после почти полного ухода с нее человека, и на диво быстро оправившаяся после радиационных травм – также безусловно является уникальным и важным природным объектом, достойным включения в Список. В Зоне природа проявила новые, неизвестные ранее свои грани. Однако в силу исторических причин критерии включения в Список как места природного наследия сейчас преимущественно нацелены на сохранение нетронутой человеком природы, хотя некоторая возможность включения по критериям IX и X все же существует. Кроме того, есть надежда, что в процессе диалога при включении в список с Комитетом всемирного наследия ЮНЕСКО удастся дополнить и/или расширить существующие «природные» критерии. Эти критерии, которые принимались на излете эпохи Модерна, эпохи Просвещения исходя из базисных предпосылок той культурной эпохи – уже не отвечают реалиям современной эпохи Постмодерна с ее во многом пост-антропогенной природой.

По инициативе научно-исследовательского подразделения «ЧЕРНОБЫЛЬ ТУР» и лично автора доклада, при поддержке Государственного агентства Украины по управлению зоной отчуждения, Украинский национальный комитет Международного совета по памятникам и выдающимся объектам В местах (ICOMOS) на заседании в день 31-й годовщины аварии на Чернобыльской АЭС номинировал Чернобыльскую зону в список культурных и природных объектов мирового значения ЮНЕСКО. В настоящее время ведется работа над официальной Предварительной заявкой от Украины в ЮНЕСКО. После ее принятия предстоит этап длительностью в несколько лет, на протяжении которых нужно произвести значительный комплекс систематических исследований номинируемого места и объектов, апробировать изыскания на нескольких международных конференциях, и по итогам представить в ЮНЕСКО Окончательную заявку. Она по сути является объемной коллективной научной монографией, доказывающей соответствие номинанта критериям включения в Список.

**Самоорганизация чернобыльского туризма**  
**(на уровне туроператора)**

Возникновение «ЧЕРНОБЫЛЬ ТУР» как чернобыльского туроператора нового поколения, отличающегося тем, что:

- изначально рассматривает чернобыльский туризм как одно из направлений ликвидации негативных последствий аварии и умножения позитивных (в первую очередь когнитивных) последствий
- опирается на принципы научности и достоверности информационного наполнения туров, использует данные и результаты наиболее передовых (в том числе своих собственных) научных исследований
- использует «сценарный» подход к туру как произведению повествовательного жанра, строит его по законам драматургии
- внедряет и ориентируется на мировые стандарты качества обслуживания туристов
- создает свои собственные туристические, базисные научные и сопутствующие туристические продукты.

(на уровне сообщества туроператоров)

Создание НГО «Ассоциация чернобыльских туроператоров»

и «Ассоциация чернобыльского туризма» для:

- повышения безопасности туристов и повышения качества ЧТ в целом
- обеспечения условий для честной конкуренции
- защиты общих интересов, обеспечения благоприятных условий для развития дестинации и чернобыльского туризма
- более эффективного диалога и сотрудничества с госструктурами, в первую очередь ГАЗО
- внедрения стандартов Европейского Союза, сертификации гидов
- интегрирование туризма в Зону с туризмом в прилегающие к ней районы как для развития ЧТ так и для возрождения прилегающих к Зоне районов.

(на уровне отрасли)

Интеграция в туристическую отрасль и индустрию гостеприимства Украины,

отход от ранее имевшего место, из-за специфики дестинации, изолированного бытования. Чернобыльские туроператоры – совместно с ответственными за туризм госструктурами, с другими, не-чернобыльскими туроператорами, и индивидуально – выходят на ведущие мировые туристические ярмарки, продвигая Чернобыль как тур-дестинацию. Происходит переход от пассивной обработки туристического «самотека» в Чернобыльскую зону – к активному формированию и увеличению этого потока. То есть к ускорению нормализации ситуации после аварии посредством туризма.

**Опыт Чернобыля, подтвержденный практикой Фукусимы, показал, что «пост-радиационно-аварийный», в частности чернобыльский туризм – неотъемлемый элемент системы ликвидации негативных последствий**

**крупномасштабных радиационных аварий, закрепления и популяризации их уроков, реабилитации пострадавших групп населения и возрождения как самой Зоны так и прилегающих пострадавших территорий.**

**Надо особо подчеркнуть, что это важное направление преодоления негативных последствий аварии, в отличие от остальных, не требует расходов бюджета и доноров – а самофинансируется и, более того, приносит прибыль предприятиям и поступления в бюджет страны!**

«Пост-радиационно-аварийный» туризм:

- (1) Поднимает экономику сопредельных с Зоной территорий, способствует их экономическому и социальному возрождению
- (2) Способствует психологической реабилитации пострадавших групп населения – ликвидаторов, населения «загрязненных» территорий и эвакуированных
- (3) Есть важным символом-меседжом для общества об – и одновременно практическим шагом к – нормализации ситуации после аварии
- (4) Есть мощным, «вещным», наглядным инструментом информирования и просвещения общества, образования профессионалов пост-чернобыльской эпохи в вопросах радиации, радиационной безопасности, гражданской обороны, ядерной энергетики, психологической травмы общества и индивидуума, и многими другими вопросами
- (5) Стимулирует нормализацию пост-аварийной Зоны, ее возвращение из чрезвычайного, милитаризованного к обыкновенному, гражданскому состоянию.

**Украина, и в частности «ЧЕРНОБЫЛЬ ТУР» - мировые лидеры по технологии и содержанию такого туризма, что в частности подтверждает постоянный поток профессионалов и ВИПов из Японии, которые приезжают изучать наш опыт.**

Социальная, культурная, символическая эволюция Чернобыльской зоны за десятилетия после крупномасштабной радиационной и социальной катастрофы – и в том числе такое новое явление и инструмент ликвидации последствий радиационных аварий, как туризм на пострадавшую от них территорию – являются теми образцами, опыт которых будет изучаться и использоваться для эффективного преодоления долговременных последствий радиационных и, шире говоря, экологических инцидентов нашей цивилизации.

# **CHERNOBYL TOURISM AS MEANS OF SUSTAINABLE RECOVERY AND DEVELOPMENT OF THE DISASTER-AFFECTED AREAS: FROM THE ZONE TO A UNESCO WORLD HERITAGE SITE**

*Sergii Mirnyi*

Both academic studies and lay practice of Chernobyl and Fukushima accidents have proved that tourism to the affected area – both closed zone and adjacent inhabited areas – is a mandatory means of sustainable recovery and development of the post-accident area. The paper is the first attempt to analyze this phenomenon and generalize its evolution, basing on the personal experience of the author and tour-operator “CHORNOBYL TOUR”.

## **ЕДИНАЯ СТРАТЕГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГРАЖДАН БЕЛАРУСИ И РОССИИ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ЗОНАМ ОТЧУЖДЕНИЯ И ОТСЕЛЕНИЯ**

*Подольяк А.Г.<sup>1</sup>, Седукова Г.В.<sup>1</sup>, Лозовая З.В.<sup>1</sup>, Исаченко С.А.<sup>1</sup>,  
Симонов А.В.<sup>2</sup>, Апанасюк О.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии» НАН Беларуси, Гомель, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем безопасного развития атомной энергетики» РАН, Москва, Российская Федерация*

В Республике Беларусь площади зон отчуждения и отселения, на которых установлен контрольно-пропускной режим, составляют 470 тыс. га. Зона отчуждения входит в состав Государственного природоохранного научно-исследовательского учреждения (ГПНИУ) «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник» площадью 216 тыс. га. Территория Заповедника характеризуется наиболее высокими уровнями радиоактивного загрязнения. Здесь сосредоточено около 30% цезия-137, выпавшего на территорию Беларуси, и более 70% стронция-90. Особенностью радиоактивного загрязнения территории Заповедника, обуславливающей его долговременный характер, является выпадение трансурановых элементов - изотопов плутония (97% от выпавших в Беларуси) и америция-241 [1-5].

Прогнозируется, что потребуется ещё 60 лет, чтобы в результате радиоактивного распада вся территория зоны отселения могла быть введена в хозяйственное пользование без нарушений действующих гигиенических нормативов в области радиационной безопасности. Вместе с тем, в связи с высокими уровнями загрязнением территории Заповедника долгоживущими

трансурановыми элементами, её иное использование не представляется возможным и в более отдалённый период [2].

В Российской Федерации наиболее загрязнены юго-западные районы Брянской области, на территории которых имеются зоны отчуждения и отселения. В настоящее время на территориях указанных зон расположено 35 тыс. га лесов и 32 тыс. га сельскохозяйственных земель. В юго-западных районах Брянской области сложилась устойчивая тенденция миграционной убыли населения, в поставарийный период число действующих населенных пунктов уменьшилось в 2 раза [3].

Неблагоприятная демографическая ситуация сказывается на экономическом состоянии регионов с отселенными территориями. Несмотря на комплекс программно-целевых решений, направленных на создание благоприятных условий проживания для населения районов, прилегающих к зонам отчуждения и отселения, в течение всего послеаварийного периода наблюдается их отставание от средних показателей Гомельской, Могилёвской и Брянской областей по произведённой продукции, доходам населения, обороту розничной торговли, объёму инвестиций в основной капитал.

В отдаленный постчернобыльский период риски неблагоприятных последствий, вызванные воздействием радиации, существенно ниже социально-экономических рисков, обусловленных низким уровнем материального достатка населения и отсутствием реальных перспектив повышения качества жизни граждан, проживающих на радиоактивно загрязнённых территориях.

Целями Единой стратегии является обеспечения радиационной безопасности населения, проживающего и ведущего хозяйственную деятельность вблизи зон с высокими уровнями радиоактивного загрязнения; создание условий для устойчивого социально-экономического развития территорий Беларуси и России, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие чернобыльской катастрофы [3].

Для достижения цели Единой стратегии в период до 2025 года необходимо обеспечить реализацию комплекса мероприятий по следующим направлениям:

- обеспечение безопасной жизнедеятельности граждан Беларуси и России, проживающих на территориях, прилегающих к зонам отчуждения и отселения;
- обеспечение устойчивого социально-экономического развития территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению;
- обеспечение взаимодействия России и Беларуси по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на приграничных территориях с высокими уровнями радиоактивного загрязнения.

Под механизмом реализации Единой стратегии подразумевается совокупность нормативно правовых документов, включающая в себя союзные и национальные государственные целевые программы,

приоритетные национальные проекты, региональные целевые программы, ведомственные нормативно правовые акты.

Наиболее эффективным способом реализации мероприятий является включение их в состав комплексных целевых программ Союзного государства, направленных на обеспечение общественной и радиационной безопасности, а также национальных целевых программ, в том числе региональных, муниципальных и отраслевых.

Возможным способом решения задач социально-экономической реабилитации районов, на территории которых имеются зоны отчуждения и отселения, является создание особой экономической зоны, что, помимо общеэкономического эффекта, позволит решить проблему возрождения сельскохозяйственного и промышленного производства на территориях, выведенных из экономического оборота, создать зону международного сотрудничества России и Беларуси по совместному использованию научно-производственного потенциала, кадров, единого энергетического пространства.

Совместная программа реализации единой стратегии в части содержания и управления территориями отселения и отчуждения Беларуси и России в части обеспечения защиты населения основывается на разработанных предложениях по формированию механизмов реализации Единой концепции управления территориями отселения и отчуждения Беларуси и России в части обеспечения защиты населения [1].

Указанными предложениями предусматривается разработка в 2017-2020 годах следующих нормативных правовых документов:

- целевых программ, включающих мероприятия по обеспечению общественной и радиационной безопасности в зонах отчуждения и отселения;
- регламентов готовности подразделений наземной и авиационной охраны лесов, с учетом особенностей радиоактивных лесных пожаров;
- документов в развитие системы национальных стандартов по безопасной жизнедеятельности населения на радиоактивно загрязненных территориях;
- регламентация создания в зонах отселения и отчуждения специальных объектов с особыми режимами доступа и перспективой использования загрязненных территорий в научных целях для изучения последствий хронического облучения природных экосистем;
- регламентация порядка и условий перевода неиспользуемых и зарастающих лесной растительностью земель запаса и сельскохозяйственного назначения в земли лесного фонда;
- регламентация порядка возвращения временно выведенных из землепользования сельскохозяйственных угодий в хозяйственный оборот.

В соответствии с данными предложениями комплекс мероприятий по реализации Единой концепции предлагается включить в состав программы совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства

по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС [1, 3].

Состав мероприятий по направлениям работ по реализации Единой стратегии в период 2017-2025 годы:

***Направление 1. Обеспечение безопасной жизнедеятельности граждан Беларуси и России, проживающих на территориях, прилегающих к зонам отчуждения и отселения:***

– содействие в развитии безопасной хозяйственной инфраструктуры, включая коммунальное хозяйство населенных пунктов (в том числе водоснабжение, водоотведение), транспорт;

– разработка и реализация совместной системы лесохозяйственных мероприятий на территориях зон отселения и отчуждения России и Беларуси, обеспечивающих высокий уровень пожарной безопасности и возможность получения нормативно чистой продукции;

– комплексное обследование приграничных населенных пунктов России и Беларуси, территории которых прилегают к зонам отселения и отчуждения;

– радиационный мониторинг уровней радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель, используемых населением приграничных населенных пунктов России и Беларуси;

– разработка совместных крупномасштабных карт радиоактивного загрязнения приграничных территорий, включая населенные пункты, лесные участки и сельскохозяйственные земли, другие объекты;

– уточнение границ территорий, отнесенных к зонам отселения и отчуждения;

– оптимизация совместной сети наблюдений за радиационной обстановкой и радиационно-экологического мониторинга почвы, воздуха, воды, флоры и фауны;

– реализация мер по сохранению природных комплексов и объектов, лесных экосистем;

– оценка состояния приграничных залежных земель в зонах отселения Беларуси и России, подготовка и поддержка проектов поэтапного возвращения их в сельскохозяйственный оборот.

***Направление 2. Обеспечение устойчивого социально-экономического развития территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению:***

– реализация мероприятий по вовлечению в хозяйственное использование и восстановление социально-экономического значения территорий, ранее выведенных из хозяйственного оборота по радиационному фактору;

– создание условий по развитию мелкосерийных современных технологий, включая деревообрабатывающие и строительные технологии, на территории поселений, имеющих отселенные территории;

- проведение мероприятий по обучению (ознакомлению) граждан и специалистов организаций, зарегистрированных в поселениях с зонами отселения, передовым технологиям, обеспечивающим производство и оказание услуг в соответствии с требованиями санитарных, ветеринарных и экологических норм и правил;

- проведение мероприятий и создание информационных продуктов (социальная реклама), содействующих продвижению продуктов и услуг, произведенных гражданами и организациями, зарегистрированными в поселениях с зонами отселения;

- содействие в обеспечении жителей удаленных от центров муниципальных образований населенных пунктов зоны отселения товарами и продуктами первой необходимости;

- укрепление и совершенствование структуры управления органов местного самоуправления территорий, имеющих земли, отнесенные к зоне отселения.

***Направление 3. Обеспечение взаимодействия России и Беларуси по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на приграничных территориях с высокими уровнями радиоактивного загрязнения:***

- внедрение технологий дистанционного автоматизированного контроля пожарной опасности лесов Союзного государства в зонах отчуждения и отселения;

- развитие элементной базы для обеспечения оперативного взаимодействия комплексной системы мониторинга за состоянием защиты населения России с системой мониторинга чрезвычайных ситуаций Беларуси;

- развитие совместной системы контроля за соблюдением особого правового режима на приграничных территориях зон отселения и отчуждения;

- внедрение совместных технологий для обеспечения защиты населения при чрезвычайных ситуациях на приграничных территориях России и Беларуси с высоким уровнем радиоактивного загрязнения;

- информационное обеспечение мероприятий по защите населения, проживающего на приграничных территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, на основе развития, включая:

- систему сбора и анализа данных о радиационной обстановке;

- информационные банки данных по основным аспектам обеспечения безопасности проживания населения на радиоактивно загрязненных территориях; существующего и прогнозируемого уровня радиоактивного загрязнения приграничных территорий, включая населенные пункты, лесные и сельскохозяйственные угодья, прогноза распространения радиоактивного загрязнения при возникновении пожаров на радиоактивно загрязненных территориях.

Объемы необходимых затрат на реализацию мероприятий и их финансово-экономическое обоснование проводятся на этапе формирования программы совместной деятельности в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Целями реализации данного комплекса мероприятий являются:

- обеспечение защиты населения от радиационного воздействия;
- снижение риска вторичного радиоактивного загрязнения природной среды от потенциально опасных источников (погибших от воздействия радиации сухостойных лесных массивов, пожаров в радиоактивно загрязненных лесах и др.);
- возвращение радиоактивно загрязненных территорий к нормальным (без ограничения по радиационному фактору) условиям жизни и хозяйственной деятельности, устойчивому экономическому развитию пострадавших районов;
- обеспечение социально-экономической реабилитации пострадавших районов.

Работы на территориях зон отселения и эвакуации (отчуждения), включая работы в лесах, осуществляются с обязательным радиационным контролем, в состав которого входит контроль обеспечения радиационной безопасности при производстве работ, в том числе индивидуальный контроль доз облучения работающих; контроль мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на рабочих местах, участках и в кабинах машин и транспортных средств; контроль уровней загрязнения радионуклидами и эффективности дезактивации рабочего инвентаря, спецодежды [6].

При проведении защитных, реабилитационных и научно-исследовательских мероприятий на территории зоны отселения и эвакуации (отчуждения) Беларуси и России лица, привлекаемые к этим мероприятиям, в обязательном порядке информируются о рисках радиационного воздействия при проведении работ, обеспечиваются средствами индивидуального радиационного контроля и, в случае необходимости, оснащаются в достаточном объеме средствами индивидуальной защиты, проходят специальный инструктаж по правилам пользования и способам проверки их исправности. Контроль и учёт доз облучения персонала. Не допускается привлечение к проведению защитных и реабилитационных мероприятий на территориях отселения и эвакуации (отчуждения) лиц моложе 18 лет. В целях предотвращения переноса радионуклидов на прилегающие к зонам эвакуации (отчуждения) и отселения территории (в том числе приграничные) организуются и проводятся совместные работы по созданию ландшафтных защитных барьеров [7, 8].

***Организация радиационного мониторинга и радиационного контроля на территориях отселения и эвакуации (отчуждения) Беларуси и России.*** Осуществление государственного мониторинга радиационной обстановки возложено на Федеральную службу по

гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (далее – Росгидромет). Радиационный мониторинг в Республике Беларусь проводится в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды. Мониторинг радиоактивного загрязнения воздуха, водных объектов, почвы, уточнение радиационной обстановки на территории эвакуации (отчуждения) проводится подразделениями Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Ведущей организацией является ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» (Гидромет). Организация управления отселёнными территориями основывается на данных об изменении радиационной обстановки и границ зон радиоактивного загрязнения. Установление (пересмотр) границ зоны отселения и эвакуации (отчуждения) (в том числе радиационно-опасных земель) осуществляется компетентными органами двух государств на основе согласованных совместных методик не реже одного раза в 5 лет. Минимальной единицей учёта при установлении границ земель эвакуации (отчуждения) и отселения является земельный участок.

При проведении радиационного контроля в зонах эвакуации (отчуждения) и отселения осуществляется выявление источников повышенной радиационной опасности, включая трансурановые элементы, в том числе в объектах окружающей среды. Обеспечение единства измерений и объёма мониторинга осуществляется на основе применения совместной системы методического и метрологического обеспечения. Для доведения до населения территорий, прилегающих к зоне отселения и эвакуации (отчуждения), сведений об изменении границ зон радиоактивного загрязнения применяются современные средства информирования [1, 3].

***Пожарная безопасность и предотвращение чрезвычайной ситуации природного и техногенного характера на территориях отселения и эвакуации (отчуждения) Беларуси и России.*** Противопожарное обустройство лесов в зонах эвакуации (отчуждения) и отселения осуществляется по специально разработанным проектам на основании разрешения органов местной администрации с учётом рекомендаций территориальных центров санитарно-эпидемиологического надзора и органов охраны окружающей среды. Управления МЧС Республики Беларусь, МЧС России и лесного хозяйства двух государств обеспечиваются современными техническими средствами и технологиями раннего обнаружения пожаров, включая развитие систем взаимного оповещения. Остановка и тушение лесных пожаров в зонах с высокими уровнями радиоактивного загрязнения ввиду высокого риска облучения и возможных тяжёлых последствий для пожарных проводится с применением лесопожарной авиационной техники. Допуск людей в лес во время пожароопасного периода запрещается, лесные дороги закрываются для проезда, на дорогах устанавливаются шлагбаумы, на всех съездах с магистральных дорог общего пользования устанавливаются щиты с

информацией о плотности загрязнения почв радионуклидами и опасности пребывания в лесу [6].

***Вовлечение в хозяйственное использование и восстановление социально-экономического значения участков, ранее выведенных их хозяйственного оборота по радиационному фактору.*** В целях развития экономической мотивации возврата указанных участков в хозяйственный оборот необходимо предусмотреть:

- обеспечение условий инвестиционной привлекательности пострадавших регионов (льготные условия ведения бизнеса, создание свободных экономических зон и т.п.);

- формирование законодательного, правового и методологического обеспечения социально-экономического развития территорий, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС;

- создание в Российской Федерации специализированной хозяйствующей структуры (управляющей компании), обеспечивающей формирование и реализацию долгосрочных проектов социально-экономического развития отселённых территорий.

Вовлечение в хозяйственное использование и восстановление социально-экономического значения участков, ранее выведенных из хозяйственного оборота по радиационному фактору, осуществляется при соблюдении следующих условий:

- радиационная обстановка позволяет осуществлять хозяйственную деятельность с соблюдением действующих норм радиационной безопасности;

- наличие потенциального собственника и/или резидента территории, который предполагает осуществлять определённые виды хозяйственной деятельности на участке и представившего необходимое обоснование и документацию в соответствии с действующим законодательством [1, 2].

**Заключение.** Значимость полученных результатов состоит в том, что данная научная разработка положена в основу при подготовке раздела: «совершенствование системы радиационной защиты населения, обеспечение устойчивого социально-экономического развития пострадавших регионов, реализация современной стратегии аграрного производства и лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения территорий России и Беларуси» Программы совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС до 2021 года. Реализация мероприятий программы обеспечит:

- улучшение качества жизни населения, проживающего в зонах радиоактивного загрязнения;

- укрепление материальной технической базы социальной и рекреационной инфраструктуры;

- возобновление активной экономической и инвестиционной деятельности на территориях, подвергшихся радиационному воздействию;
- смена направлений миграционных потоков на территорию юго-западных районов Брянской области, а также Гомельской и Могилевской областей, обеспечение к 2025 году постоянного притока населения в эти регионы;
- снижение негативных последствий радиационного воздействия на здоровье населения.

### Литература

1. Подоляк, А.Г. Разработка и реализация единой концепции управления территориями отселения и отчуждения Беларуси и России в части обеспечения защиты населения / А.Г. Подоляк, Г.В. Седукова, З.В. Лозовая, С.А. Исаченко // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь – 2017. – Том 1. – №3. – С.255-259.

2. A. Podolyak, S. Tagai, E. Nilova, V. Averin. Assessment of committed doses received by agricultural workers in grain harvesting operations in the areas of radioactive contamination // Radioprotection, 2017, 52(1), – P. 37-43.

3. Отчёт о НИР «Разработка единой концепции управления территориями отселения и отчуждения Беларуси и России в части обеспечения защиты населения» (заключительный. 2016 г.). Договор №50 от 28.11.2014 г. Рук. темы - Подоляк А.Г. РНИУП «Институт радиологии». Гомель, 2015.

4. О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС : Закон Респ. Беларусь, 26 мая 2012 г., № 385-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2012. – № 63. – 2/1937.

5. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия - Беларусь) / под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. – Москва: Фонд «Инфосфера» - НИА – Природа; Минск: Белкартография, 2009. – 140 с: ил., карт.

6. Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения /Комитет лесного хозяйства при Совете Министров Республики Беларусь. Мн., 2002. – 99 с.

7. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 г. № 137.

8. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утвержденный постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 28.12.2012 г. № 213.

# UNIFIED STRATEGY: HEALTH AND DAILY LIFE SAFETY OF THE RESIDENTS OF BELARUS AND RUSSIA WHO LIVE IN THE AREAS NEIGHBOURING THE EXCLUSION AND RESETTLEMENT ZONES

*Podolyak A.<sup>1</sup>, Sedukova G.<sup>1</sup>, Lozovaya Z.<sup>1</sup>, Isachenko S.<sup>1</sup>,  
Simonov A.<sup>2</sup>, Apanasyuk O.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Research Institute of Radiology (RIR), National Academy of Sciences of Belarus,  
Gomel

<sup>2</sup>Nuclear Safety Institute (IBRAE), Russian Academy of Sciences, Moscow

*Purpose* – Development a Unified Belarus-Russian strategy for managing resettlement and exclusion territories in terms of securing human protection in the aftermath of the Chernobyl NPP nuclear accident.

*Methods* – Radiation data collection and analysis; analysis of the existing database on the basic aspects related to securing the safety of living in contaminated areas; analysis of the existing and forecasted levels of radioactive contamination of bordering territories including residential areas, forests and agricultural lands; modelling radiation dispersion in case of wildfires in the areas of radioactive contamination.

*Findings* – Provisions have been developed in terms of three major directions of the Unified Strategy: health and daily life safety of the residents of Belarus and Russia who live in the areas neighbouring the exclusion and resettlement zones; sustainable socioeconomic development of the areas affected by radioactive contamination; interaction between Russia and Belarus in terms of emergency prevention, preparedness and response in the bordering territories with high levels of radioactive contamination.

## ОПЫТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ

*Подольяк А.Г.<sup>1</sup>, Дробышевская В.В.<sup>1</sup>, Аверин В.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии» НАН Беларуси, г. Гомель, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», г. Гомель, Республика Беларусь

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий», проживание и трудовая деятельность населения на территории радиоактивного загрязнения не требуют каких-либо ограничений, если средняя годовая эффективная доза облучения населения не превышает 1 мЗв над уровнем естественного и техногенного

радиационного фона. В случае превышения 1 мЗв – проводятся защитные мероприятия в обязательном порядке за счет бюджетных средств [1].

В соответствии со статьей 4 Закона «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению после катастрофы на Чернобыльской АЭС» территория Республики Беларусь разделена на зоны в зависимости от величины радиоактивного загрязнения почв радионуклидами и величины среднегодовой эффективной дозы облучения (таблица 1).

По состоянию на 1 января 2015 года, по отношению к общей территории республики (19,6 тыс. км<sup>2</sup>) площади загрязнения <sup>137</sup>Cs по зонам составляет: зона проживания с периодическим радиационным контролем – 9,4%, зона с правом на отселение – 3,1%, зона последующего отселения – 0,7%, зона первоочередного отселения – 0,2%.

**Таблица 1 – Зонирование территории Республики Беларусь по уровню радиоактивного загрязнения и величине дозовых нагрузок на население**

Наименование зоны	Эквивалентная доза, мЗв/год	Плотность загрязнения, кБк/м <sup>2</sup> / (Ки/км <sup>2</sup> ) *		
		<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>238, 240</sup> Pu
Зона проживания с периодическим радиационным контролем	< 1	37 - 185 (1-5)*	5,55 - 18,5 (0,15-0,50) *	0,37 -0,74 (0,01-0,02) *
Зона с правом на отселение	1-5	185 – 555 (5-15) *	18,5 – 74 (0,50-2,0) *	0,74 - 1,85 (0,02-0,05) *
Зона последующего отселения	> 5	555 – 1840 (15-40) *	74 – 111 (2,0-3,0) *	1,85 - 3,7 (0,05-0,1) *
Зона первоочередного отселения	> 5	> 1840 (> 40) *	> 111 (> 3,0) *	> 3,7 (> 0,1) *
Зона эвакуации (отчуждения)	территория вокруг ЧАЭС, с которой в 1986 году было эвакуировано население			

В результате катастрофы на Чернобыльской АЭС в зоне радиоактивного загрязнения оказалось около 3600 населенных пунктов, в том числе 27 городов, где проживало 2,2 млн. человек. Из 471 населенного пункта население было эвакуировано или отселено (295 – в Гомельской области, 174 – в Могилевской области и 2 – в Брестской области). Всего отселено 137,7 тыс. человек, в том числе эвакуировано в течение 1986 года 24,7 тыс. жителей из 107 наиболее пострадавших населенных пунктов и в дальнейшем переселено 113 тыс. человек из 364 населенных пунктов.

Действующий в настоящее время «Перечень населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения» (утвержден постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 11 января 2016 года № 9) указывает на наличие в зонах радиоактивного загрязнения 2193 населенных пункта, что на 37,3% меньше (1307 населенных пункта) по

сравнению с 1992 годом (Перечень населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения, утвержденный постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 1 июня 1992 года № 338), в которых проживало 1 112675 человек. С 1992 года количество проживающих на этих территориях граждан уменьшилось на 740 175 человек (таблица 2).

**Таблица 2 – Динамика количества населенных пунктов и проживающего в них населения по зонам радиоактивного загрязнения**

Зона радиоактивного загрязнения	Годы				
	1992	1996	2002	2006	2016
Изменение количества населенных пунктов					
Проживания с периодическим радиационным контролем	1988	1771	1665	1749	1719
С правом на отселение	1200	1109	1061	836	460
Последующего отселения	299	81	49	28	14
Первоочередного отселения	18	-	-	-	-
<b>Всего</b>	<b>3513</b>	<b>2961</b>	<b>2775</b>	<b>2613</b>	<b>2193</b>
Изменение количества проживающего населения, тыс. человек					
Проживания с периодическим радиационным контролем	1489,6	1315,7	1202,4	1104,2	1007,15
С правом на отселение	281,3	299,2	244,8	181,0	117,7
Последующего отселения	79,1	24,4	15,8	2,9	1,9
Первоочередного отселения	2,9	-	-	-	-
<b>Всего</b>	<b>1852,9</b>	<b>1639,3</b>	<b>1462,9</b>	<b>1288,2</b>	<b>1126,75</b>

С 1986 по 1989 гг. в Беларуси было дезактивировано 500 населенных пунктов, 60% из них – в 2-3 этапа. 7,3 миллиона м<sup>3</sup> почвы было снято и захоронено; завезено 1,57 миллиона м<sup>3</sup> чистого грунта.

Крупномасштабное загрязнение сельскохозяйственных земель долгоживущими радионуклидами, определяющее необходимость ведения агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения в течение длительного периода времени, является одним из наиболее тяжелых последствий чернобыльской катастрофы.

Загрязненными оказались земли в зоне интенсивного ведения сельского хозяйства. После аварии, площадь загрязненных <sup>137</sup>Cs сельскохозяйственных земель с плотностью выше 37 кБк/м<sup>2</sup> (>1 Ки/км<sup>2</sup>) составила 1,8 млн. га. За период с 1986 по 1991 годы по причине превышения предельных дозовых нагрузок на население, трудностью получения сельскохозяйственной продукции с допустимым уровнем загрязнения радионуклидами и экономической нецелесообразностью, в связи с ликвидацией 54 сельскохозяйственных организации, из сельскохозяйственного оборота было выведено 264 тыс. га земель. Из них 87,7 тыс. га земель, находящихся в ближней зоне Чернобыльской АЭС, вошли в состав Полесского

государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), образованного с целью обеспечения содержания высоко загрязненных территорий, в том числе в связи с выпадением на данную территорию альфа-излучающих изотопов плутония и америция. К зоне отселения были отнесены 176,3 тыс. гектаров выведенных из пользования сельскохозяйственных земель.

За 30-ти летний послеаварийный период радиационная обстановка на сельскохозяйственных землях значительно улучшилась. Произошел распад короткоживущих радионуклидов. Концентрация долгоживущих радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почве уменьшилась почти наполовину только по причине естественного распада. В наиболее пострадавших районах четко прослеживается перераспределение площадей загрязнения земель с более высокой плотностью в более низкую плотность загрязнения [2].

Сельскохозяйственное производство по состоянию на 01.01.2015 ведется на 941,3 тыс. га земель, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  с плотностью 37-1480 кБк/м<sup>2</sup>. Из общей площади земель, загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  (321,7 тыс. га), 308,3 тыс. га сельскохозяйственных земель, включая 180,2 тыс. га пашни и многолетних насаждений, сосредоточены в Гомельской области. Здесь доля загрязненных пахотных и луговых почв составляет 25,5 % от общей площади используемых сельскохозяйственных земель. В Могилевской и Брестской областях доля загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  пахотных и луговых почв незначительна и составляет соответственно 1,1 и 0,1 %.

Как показывают результаты анализа, из 58 пострадавших районов Республики Беларусь в 24 удельный вес загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  сельскохозяйственных земель не превышает 10 %, в 11 районах такие земли занимают 11–25 %, в 10 районах – 26–50 и в 13 районах – более 50 %. В 23 административных районах, относящихся к третьей и четвертой группам по степени загрязнения, сосредоточено 80 % (809,0 тыс. га) всех загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  сельскохозяйственных земель, тогда как в остальных 35 районах, относящихся к первой и второй группам, – 20 % (197,2 тыс. га).

Из 27 районов, подвергшихся воздействию  $^{90}\text{Sr}$ , в 12 удельный вес загрязненных земель не превышает 10 %, в трех районах такие земли занимают 11–25 %, в семи районах – 26–50 % и в пяти районах – более 50 %. Следует отметить, что в 12 наиболее загрязненных административных районах сосредоточено 93 % (323,8 тыс. га) всех загрязненных этим нуклидом сельскохозяйственных земель, тогда как в остальных 15 районах – 7 % (24,4 тыс. га) [2].

Проблема снижения дозовых нагрузок на население была наиболее острой в течение первых десяти лет после аварии, и остается актуальной в настоящее время только в небольшом числе населенных пунктов с повышенной плотностью загрязнения территории долгоживущими радионуклидами и преобладанием торфяных, пойменных и заболоченных песчаных почв.

После Чернобыльской катастрофы применение защитных или специальных мероприятий (контрмер) позволило более чем в два раза уменьшить дозы облучения населения, поскольку в условиях Беларуси около 75 % коллективной дозы облучения формировалось за счет поступления радионуклидов в организм с продуктами питания.

Основным критерием эффективности защитных мер является уменьшение поступления радионуклидов из почвы в пищевую цепочку и получение продукции с содержанием радионуклидов в пределах допустимых уровней. Контрмеры позволяют сократить время ввода радиоактивно загрязненных территорий в хозяйственное использование, расширить масштабы и направленность их использования (рис.1).

**Эффективность агротехнических и агрохимических приемов, обеспечивающие снижение накопления <sup>137</sup>Cs в продукции растениеводства**

		Кратность снижения, раз	
		Первая пятилетка	Последующие периоды
<b>Пахотные земли</b> 	Обработка почв (вспашка с оборотом пласта, глубокая вспашка)	до 5,0	до 1,5
	Известкование (в дозе 1,5 Нг)	до 4,0	до 2,0
	Применение органических удобрений	до 2,5	до 2,0
	Применение фосфорных удобрений	до 1,5	до 0,5
	Применение калийных удобрений	до 3,5	до 3,0
	Оптимизация доз применения азотных удобрений	до 2,5	до 1,5
	Подбор видов культур с минимальными уровнями накопления	до 30	до 5,0
<b>Луговые земли</b> 	Коренное улучшение	до 6,0	до 3,0
	Поверхностное улучшение	до 3,0	до 1,5
	Подбор травосмесей	до 3,0	до 2,0

**Рисунок 1– Эффективность некоторых защитных мероприятий по снижению поступления <sup>137</sup>Cs в продукцию растениеводства**

Для осуществления защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве на территориях радиоактивного загрязнения, предусматривается известкование кислых почв, поставка фосфорных и калийных удобрений, создание культурных кормовых угодий, поставка комбикормов с цезийсвязывающей добавкой. Объемы применения основных защитных мероприятий приведены в таблице 3.

**Таблица 3 – Объемы применения защитных мер в аграрном производстве Республики Беларусь (за период с 2001 по 2020 годы)**

Годы	Известкование, тыс. га	Внесение удобрений, тыс. тонн		Создание улучшенных пастбищ, тыс. га	Комбикорма с ферроцином, тыс. тонн
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
2001-2010	391,1	237,6	833,3	88,7	10,6
2011-2015	161,5	119,5	399,8	15,8	2,5
2016-2020	133,6	112,3	375,9	14,6	2,0

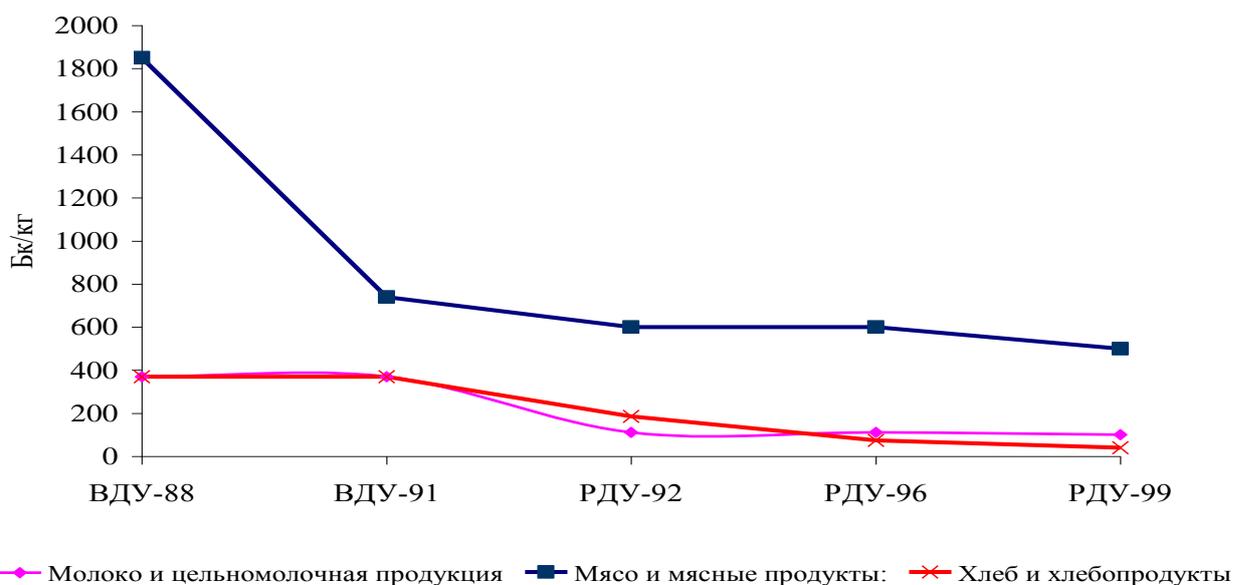
При планировании реабилитационных мероприятий должна проводиться оптимизация применения контрмер, обеспечивающих радиационную безопасность населения и ведения хозяйственной деятельности, что создаст условия для устойчивого социально-экономического развития пострадавших регионов. Выбор реабилитационных мероприятий должен основываться не только на их радиологической эффективности, но и на оптимизации по критериям экономической, социально-психологической, экологической целесообразности.

Прогнозы показали, что без проведения защитных мероприятий (контрмер) количество населенных пунктов с годовой дозой выше 1 мЗв будет уменьшаться крайне медленно. На поздней стадии аварии контрмеры является основным средством реабилитации территорий, пострадавших в результате Чернобыльской катастрофы.

Установление предельно допустимых уровней содержания радионуклидов в продуктах питания является защитным мероприятием, направленным на ограничение доз внутреннего облучения населения на всех этапах аварийной ситуации. Последовательное и поэтапное осуществление мероприятий по ликвидации последствий чернобыльской катастрофы в агропромышленном комплексе создавало условия для постоянного ужесточения допустимых норм содержания радионуклидов в продуктах питания и сырье [2, 4, 5].

На протяжении всего постчернобыльского периода допустимые уровни неоднократно пересматривались в сторону ужесточения 5 раз (рисунок 2)

В результате нормативы содержания <sup>137</sup>Cs в молоке и говядине ужесточились в 3,7 раза, в хлебе и хлебобулочных изделиях – почти в 10 раз. Дозы внутреннего облучения населения от употребления продуктов питания за данный период снизились с 1,7 до 0,9 мЗв/год.



**Рисунок 2 – Допустимые уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в продуктах питания в Республике Беларусь**

Для целей нормирования радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  было принято по состоянию на 1996 г., что вклад в годовую дозу внутреннего облучения от  $^{90}\text{Sr}$  не превышает 10%, то есть доза внутреннего облучения от  $^{137}\text{Cs}$  не превысит 0,9 мЗв, от  $^{90}\text{Sr}$  – 0,1 мЗв (таблица 4) [2, 4].

**Таблица 4. Дозы внутреннего облучения от  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  с учетом принятых допустимых уровней содержания в продуктах питания, действующих на территории Беларуси, России, Украины и Единых гигиенических нормативов Таможенного союза, мЗв/год**

Радионуклид	Республика Беларусь, РДУ-99	Российская Федерация СанПин 2.3.2.1078-01	Украина	Таможенный Союз ТР ТС 021/2011
$^{137}\text{Cs}$	0,78	1,20	0,70	0,59
$^{90}\text{Sr}$	0,08	0,93	0,33	0,96
Суммарная доза	0,86	2,13	1,03	1,55

Сравнительный анализ уровней поступления радионуклидов при использовании рациона жителей Беларуси и регламентируемых значений содержания радионуклидов в нормативах Беларуси, России, Украины и Таможенного союза показал, что ограничение доз внутреннего облучения населения Беларуси обеспечивается в большей степени, чем населения России и Украины (рисунок 3).

Поступление  $^{90}\text{Sr}$  в пищевую цепочку за постчернобыльский период снижено в 2-3 раза, что обусловлено в основном за счет внедрения комплекса агрохимических защитных мероприятий. Так как подвижность  $^{90}\text{Sr}$  в почве и доступность его растениям не уменьшилась, а чаще имеет тенденцию к повышению, одних агрохимических защитных мер недостаточно для

требуемого уменьшения поступления  $^{90}\text{Sr}$  в сельскохозяйственную продукцию.

**Допустимые уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг)  
в продуктах питания,  
установленные после аварии на ЧАЭС**

Продукты	Комиссия Codex Alimentarius (международная торговля)	ЕС	Беларусь	Российская Федерация	Украина	ТР ТС 021/2011
Год принятия	1989	1986	1999	2001	1997 и 2006	2011
Хлеб, мука, зерновые	1000	600	40	40-60	20-50	40
Молоко	1000	370	100	100	100	100
Детское питание	1000	370	37	40-60	40	40
Молочные продукты	1000	600	50-200	100-500	100-500	100
Мясо и мясные продукты	1000	600	180-500	160-180	200-400	200
Рыба	1000	600	150	130	150	130
Яйца	1000	600	-	80	100	-
Овощи, фрукты, картофель, корнеплоды	1000	600	40-100	40-120	40-70	80

**Рисунок 3 – Допустимые уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в продуктах питания, установленных в различных странах после аварии на ЧАЭС**

Исследования, связанные с оценкой суммарных годовых эффективных доз облучения школьников Хойникского и Брагинского районов показали, что несмотря на невысокие абсолютные значения доз (значительно ниже 1 мЗв/год) установлен достаточно значительный вклад  $^{90}\text{Sr}$  во внутреннюю дозу облучения (в отдельных случаях до 40%) в населенных пунктах, где плотности загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  достигают 1 Ки/км<sup>2</sup>, а плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  составляют менее 10 Ки/км<sup>2</sup> (рисунок 5) [3].



**Рисунок 5 – Вклад  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в суммарную годовую дозу от потребления различных продуктов питания школьников**

**Заключение.** Вопросы устойчивого развития сельского хозяйства на загрязненной радионуклидами территории требуют новой концепции по ведению агропромышленного производства в этих условиях с целью максимально минимизировать поступление радионуклидов (особенно  $^{90}\text{Sr}$ ) в организм человека и снижение доз облучения населения.

Производство нормативно чистой сельскохозяйственной продукции на загрязненных радионуклидами землях возможно только на основе плановой трансформации земель, дифференцированном размещении посевов сельскохозяйственных культур и целевом использовании конечной продукции на основе прогноза загрязнения урожая, с учетом свойств почв и результатов радиационного контроля. Бюджетные средства необходимо направлять на проведение защитных мероприятий на землях с высокой плотностью загрязнения:  $^{137}\text{Cs}$  185–1480 кБк/м<sup>2</sup> и  $^{90}\text{Sr}$  11–111 кБк/м<sup>2</sup>, в регионах с проблемными и слабокультуренными почвами, где сельские жители потребляют продукты питания собственного производства.

В целом, необходимы новые стратегические подходы по организации жизнедеятельности на загрязненных радионуклидами территориях.

### **Литература**

1. 30 лет чернобыльской аварии: итоги и перспективы преодоления её последствий. Национальный доклад Республики Беларусь. Минск: Ин-т радиологии, 2016. –116 с.
2. Подоляк, А.Г. Научные аспекты сельскохозяйственного производства в постчернобыльских условиях/ А.Г. Подоляк, В.В. Валетов, А.Ф. Карпенко. – Мозырь: МГПУ им. И.П.Шамякина, 2017. –242 с.
3. Аверин, В.С. Ожидаемые дозы внутреннего облучения жителей некоторых населенных пунктов Гомельской области / В.С. Аверин, К.Н. Буздалкин, Е.В. Копыльцова, Е.К. Нилова, Э.Н. Цуранков // Научно-практический рецензируемый журнал «Медико-биологические проблемы жизнедеятельности». – Гомель: ГУ «РНПЦ РН и ЭЧ», 2016. – №1(15) – С.77-81.
4. A. Podolyak, S. Tagai, E. Nilova, V. Averin. Assessment of committed doses received by agricultural workers in grain harvesting operations in the areas of radioactive contamination // Radioprotection, 2017, 52(1), – P. 37-43
5. Радиологические аспекты применения минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных кормовых угодьях / Н.М. Белоус, А.Г.Подоляк, Е.В. Смольский, А.Ф. Карпенко // Агрехимический вестник. Сер. хим. наук. – 2016. – № 2. – С. 10–14.

# **BELARUS EXPERIENCE IN MANAGING RADIATION SAFETY OF ITS POPULATIONS AND TERRITORIES AFTER THE CHERNOBYL NPP DISASTER**

*Podolyak A.G.<sup>1</sup>, Drobyshevskaya V.V.<sup>1</sup>, Averin V.S.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Research Institute of Radiology (RIR) of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus*

Sustainable development of agricultural production in the areas of radioactive contamination requires an advanced agricultural management concept to be implemented in these specific conditions in order to minimize radionuclide intake (especially <sup>90</sup>Sr) by populations and reduce their radiation doses.

Production of ‘regulatory clean’ agricultural foodstuffs in contaminated areas can be achieved only through controlled transformation of the lands, differentiated crop allocation and cultivation, and targeted-purpose use of end products based on yield contamination forecasts, soil properties and radiation control results. The budget funds should be allocated on implementing protective measures in the areas i) with high radionuclide deposition densities (<sup>137</sup>Cs 185–1480 kBq/m<sup>2</sup>, <sup>90</sup>Sr 11–111 kBq/m<sup>2</sup>), with high-maintenance or poorly cultivated soils, and iii) where residents predominantly consume self-produced foodstuffs.

In general, there is a strong need in new strategic approaches for managing the livelihoods in radioactively contaminated territories.

## **СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ПРОБЛЕМА ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ АМЕРИЦИЯ-241 ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

*Семененя И.Н.*

*Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск*

В последнее время в СМИ стали появляться публикации, посвященные проблеме увеличения активности в окружающей среде одного из вторичных чернобыльских радионуклидов – америция-241. В одной из статей с названием “Америций: как уберечься от смертельно опасного продукта распада плутония, выброшенного Чернобылем” говорится следующее: “С течением времени наиболее опасным последствием аварии на ЧАЭС становится америций-241 – продукт распада плутония-241. Опасность америция в том, что его количество со временем лишь возрастает... он – источник альфа-излучения, а это смертельная угроза для живого организма...” [1]. В упомянутой статье высказываются опасения, что, если ситуация с нарастанием активности америция-241 будет развиваться по самому плохому сценарию, прогнозируемому отдельными учеными, то

может встать вопрос даже об отселении отдельных населенных пунктов Речицкого района. Такие высказывания людьми, которые не являются сторонними наблюдателями и вовлечены в сферу преодоления последствий чернобыльской катастрофы, т.е. являются, вроде бы, специалистами в данной области, вызывают некоторое недоумение. Выскажем свою точку зрения по данному вопросу.

По принятым экспертным оценкам содержание плутония-241, выброшенного из разрушенного чернобыльского реактора, составляет 2,1 кг (для сравнения: плутония-239 – 11,4 кг, плутония-240 – 4,4 кг, плутония-238 – 0,047 кг). Из той его части, которая выпала на территорию Беларуси (точную цифру назвать трудно, но она, понятно, существенно меньше 2 кг), 97% локализовалось в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике (ПГРЭЗ), площадь которого – чуть больше 1% площади Беларуси. Цифра 97% принята для всех трансурановых элементов, т.е. для суммы изотопов плутония-238, 239, 240, 241 (первые три изотопа – источники  $\alpha$ -излучения, плутоний-241 –  $\beta$ -излучатель). Поэтому будем считать, что она соответствует и значению для плутония-241. Период полураспада плутония-241 составляет 14,4 года (период полного распада ~ 144 года). В результате  $\beta$ -распада он превращается в америций-241 – источник  $\alpha$ -частиц и мягкого, низкоэнергетического  $\gamma$ -излучения. Период его полураспада – 432,2 года. Именно за счет америция-241 общая  $\alpha$ -активность трансурановых элементов (ТУЭ) чернобыльского происхождения будет не снижаться, а возрастать по расчетам как минимум до 2056 года [2, 5].

Изотопы плутония и америция-241 сосредоточены почти на 2% площади республики (около 4 тыс. км<sup>2</sup>) преимущественно в 7 районах 2-х областей: 6 районах Гомельской области (Брагинский, Добрушский, Лоевский, Наровлянский, Речицкий, Хойникский) и Чериковском районе Могилевской области. Максимальные уровни загрязнения по америцию-241 (до 4-5 Ки/км<sup>2</sup> и выше) зарегистрированы в ПГРЭЗ в местах бывших населенных пунктов Крюки и Кулажин Брагинского района, Масаны Хойникского района, Довляды Наровлянского района Гомельской области. К 2056 году максимальные плотности загрязнения америцием-241 на территории ПГРЭЗ прогнозируются в районах бывших населенных пунктов Кулажин и Довляды [2].

По состоянию на 1 января 2009 года суммарная активность америция-241 ( $4,9 \cdot 10^{12}$  Бк или 132 Ки) на территории ПГРЭЗ превосходила суммарную активность изотопов плутония-238, 239, 240 ( $2,2 \cdot 10^{12}$  Бк или 60 Ки) в 2,2 раза. Распределение плотности америция-241 по территории ПГРЭЗ на эту же дату было следующим: ~16% площади ПГРЭЗ имело плотность загрязнения америцием-241 ниже 0,01 Ки/км<sup>2</sup>, т.е. данная территория считалась чистой по этому радионуклиду, если принять за основу критерии зонирования по ТУЭ; 71,7% площади ПГРЭЗ имело плотность загрязнения америцием-241 от 0,01 до 0,1 Ки/км<sup>2</sup> и 12,3% – выше 0,1 Ки/км<sup>2</sup>, что, в соответствии с уже упомянутыми критериями зонирования, считается зоной

эвакуации или отчуждения (хотя для ПГРЭЗ, понятно, эти критерии не применимы в связи с тем, что в нем отсутствуют населенные пункты для которых и введена система зонирования) [2].

Реально следует анализировать только загрязненность америцием-241 территорий за пределами ПГРЭЗ, что может иметь значение для здоровья людей. В ПГРЭЗ же, где выпало 97% ТУЭ, жестко соблюдаются требования радиационной безопасности, работники редко бывают в местах с высокой плотностью загрязнения ТУЭ, и суммарная годовая доза внешнего и внутреннего облучения их составляет всего лишь 1,7-1,8 миллизиверта (мЗв) на человека, что, как известно, никакого ущерба здоровью не несет (справочно: при проведении, например, ирригоскопии (рентгеноскопии толстого кишечника) средняя доза внешнего облучения составляет сейчас 6 мЗв (в 1980-е годы доза рентгеновского облучения при ирригоскопии достигала 520 мЗв); при полном обследовании брюшной полости и органов малого таза с помощью компьютерной рентгеновской томографии можно в настоящее время получить дозу до 30 мЗв; гигиеническими нормативами “Нормы радиационной безопасности (НРБ-2012)” установлен предел дозы в 20 мЗв/год при профессиональном облучении; в отдельных населенных пунктах Ставропольского края Российской Федерации жители получают дозы облучения до 51 мЗв в год, а в Челябинской области – до 89 мЗв; в структуре, например, коллективной дозы населения Воронежской области Российской Федерации доза от природных источников составляет 83,65%, от медицинских – 16,06%, от техногенно измененного радиационного фона, включая глобальные выпадения и аварию на Чернобыльской АЭС, – 0,18%, от деятельности предприятий, использующих источники ионизирующего излучения, – 0,11%, а величина средней годовой эффективной дозы облучения на 1 жителя за счет всех видов ионизирующего излучения в 2016 году составила 3,4 мЗв; максимальная величина средней накопленной за 1986-2016 годы эффективной дозы облучения жителей пос. Заборье Макаричского сельского поселения Красногорского района Брянской области Российской Федерации составила 299 мЗв на 1 жителя [3, 7]).

Даже если принять, что весь выброшенный из реактора плутоний-241 (2,1 кг) попал на территорию Беларуси (хотя он есть и в Украине, и Российской Федерации), то только 3% или 63 грамма его попало за пределы заповедника и распределилось по 6 районам Гомельской области и в 1 районе Могилевской области – в среднем 9 грамм на 1 район (часть изотопа в количествах, не превышающих 0,01 Ки/км<sup>2</sup>, распределилась и по другим районам).

Понятно, что для детального анализа нужны точные данные о распределении америция-241 по указанным районам, сельскохозяйственным землям, личным подсобным хозяйствам и анализу возможности попадания изотопа в продукцию растениеводства и животноводства, хотя, навскидку, проблемы здесь нет, даже если общая альфа-активность и вырастет через несколько десятков лет в 2-4 раза. По некоторым данным в настоящее время

вклад америция-241 в общую  $\alpha$ -активность всех ТУЭ составляет 50%, к 2060 году он достигнет 67%, а в 2086 году  $\alpha$ -активность почвы на территориях, загрязненных ТУЭ, будет в 4 раза выше, чем в первоначальный период после аварии на Чернобыльской АЭС. По самым пессимистическим оценкам активность америция-241 к 2056 году превысит первоначальную в 6 раз (данные представлены для Брянской области Российской Федерации) [2].

Принято считать, что вклад америция-241 в дозу облучения населения наиболее загрязненной Гомельской области не превышает 1%. Этот изотоп может внести вклад лишь в дозу внутреннего облучения, т.к. внешним облучением от америция-241 можно пренебречь – оно ничтожно мало ( $\alpha$ -излучение не проникает даже через кожу, а уровень  $\gamma$ -излучения крайне низкий; правда, в тех случаях, когда америций-241 в каких-то случаях, например, при проведении сельхозработ, на короткое время попадает на кожу, можно теоретически порассуждать на тему о его повреждающем действии на клетки эпидермиса). Основными же путями поступления америция-241, как и других ТУЭ, в организм (в наибольших количествах америций-241 накапливается в костях, печени и почках) являются дыхательные пути и пищеварительный тракт [6, 8]. Ингаляционным путем ТУЭ могут попасть в организм при проведении сельскохозяйственных работ на загрязненных землях, включая личные подсобные хозяйства, во время сильного ветрового подъема радионуклидов с поверхности почвы или при низовых пожарах. Если в организм попадет загрязненная америцием-241 пища или вода, то всасывание этого радионуклида составит, всего лишь, 0,001-0,03%, т.е. во внутреннюю среду организма поступит ничтожно малое количество изотопа от его ничтожно малого количества поступившего с продуктами питания. Работниками научной части ПГРЭС америций-241 выявлен в тканях диких кабанов, обитающих на территории ПГРЭС (в пищевом рационе этих животных почва составляет 2%), в микроколичествах, равных порогу возможностей обнаружения данного радионуклида [4].

Несколько лет назад РНИУП “Институт радиологии” проводил исследования, посвященные изучению дозовых нагрузок на сельскохозяйственных работников в процессе осуществления сезонных пахотных, посевных и уборочных работ на высокозагрязненных залежных землях. Оказалось, что доза облучения, которую получает работник в течение всего периода сельскохозяйственных работ за год от всех чернобыльских ТУЭ при ингаляционном пути их поступления в организм, составляет 1/10 000–1/100 000 от 1 мЗв, т.е. практически ничего. Даже, если учесть то обстоятельство, что повреждающее действие на организм  $\alpha$ -излучающих радионуклидов в 20 раз превышает таковое от  $\beta$ - или  $\gamma$ -излучателей при одной и той же поглощенной дозе, то и это существенно не отразится на организме при таких ничтожных дозах.

Исследование РНИУП “Институт радиологии” уровней загрязнения америцием-241 пищевой продукции (молоко, картофель), произведенной в личных подсобных хозяйствах, расположенных на территориях Брагинского,

Наровлянского и Хойникского районов, прилегающих к границе ПГРЭЗ, не обнаружило этого радиоизотопа в изученных образцах (активность америция-241 была ниже порога чувствительности измерительной техники – 0,001 Бк/кг). Если даже предположить, что активность америция-241 в продуктах питания находится на уровне 0,001 Бк/кг и человек съедает в день 2 кг таких продуктов, то за год в его пищеварительный тракт попадет количество америция-241 с суммарной активностью 0,73 Бк при установленном пределе годового поступления этого радиоизотопа в организм человека с пищевыми продуктами 2 700 Бк, т.е. в 3 700 раз меньше.

Можно также задаться вопросом: “А распространяется ли америций-241 с дымом во время пожаров в ПГРЭЗ?”. Во-первых, пожары в ПГРЭЗ явление нечастое и масштабы их, как правило, невелики, во-вторых, по данным научной части ПГРЭЗ, америций-241 в частицах дыма и сажи во время пожаров не обнаружен, т.к. его в древесине лесных пород ПГРЭЗ практически нет или количество ничтожно мало, а горящие травянистые и кустарниковые растения вносят, видимо, весьма небольшой вклад в распространение америция-241 с воздухом и дымом, что и не позволяет его выявить современными методами [4].

Если касаться возможных медицинских последствий длительного облучения организма америцием-241, то еще в 1970-х гг. было показано, что максимальное количество накопленного в организме америция-241, не приводящее к сокращению продолжительности жизни крыс и собак, составляет соответственно 18 500 Бк/кг и 890 Бк/кг. Депонированные в костях америций-241 и плутоний-239 могут вызвать с одинаковой частотой остеосаркомы, однако они возникают у экспериментальных животных (крыс) при поглощенных дозах не менее 300-500 мГр (1 мГр условно эквивалентен 1 мЗв), причем, только у 1,5-2% животных. Максимальный же выход остеосарком отмечен при дозах 8 500-9 000 мГр [6, 8]. В постчернобыльской ситуации мы имеем дело с дозами америция-241, которые на много порядков меньше приведенных патогенных доз.

Таким образом, представленные данные дают основания считать, что на территории Республики Беларусь не может быть сформирована доза внутреннего облучения от америция-241, способная вызвать какие-либо негативные изменения в организме, если соблюдать требования радиационной безопасности. Однако точный ответ на этот вопрос будет получен после завершения научных исследований по выяснению вклада америция-241 в формирование дозы внутреннего облучения населения пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС районов Беларуси.

### Литература

1. Америций: как уберечься от смертельно опасного продукта распада плутония, выброшенного Чернобылем // [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа : <https://nn.by/?c=ar&i=169637&lang=ru>. – Дата доступа : 14.05.2016.

2. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА – Россия-Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. – М. : Фонд “Инфосфера” – НИИ-Природа; Мн. : Белкартография, 2009. – 140 с.

3. Брук Г.Я. Средние накопленные за 1986-2016 гг. эффективные дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения по постановлению Правительства Российской Федерации от 08.10.2015 г. № 1074 “Об утверждении Перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС” / Г.Я. Брук, А.Б. Базюкин, А.А. Братилова [и др.] // Радиационная гигиена. – Т. 10, № 2. – С. 57-105.

4. В Полесском радиационном заповеднике америций обнаружили в организмах диких кабанов, потому что кабаны роют землю и едят корнеплоды с землей // [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа : <https://nn.by/?c=ar&i=169637&lang=ru>. – Дата доступа : 14.05.2016.

5. Основы радиозологии и безопасной жизнедеятельности / Под общ. ред. Г.А.Соколик, С.В.Овсянниковой, Т.Н.Ковалевой. – Мн. : Тонпик, 2008. – 368 с.

6. Проблемы радиобиологии америция-241 / Под ред. Ю.И.Москалева / М. : Атомиздат, 1977. – 166 с.

7. Степкин Ю.И. Мониторинг радиационной обстановки на территории Воронежской области / Ю.И. Степкин, М.К. Кузмичев, О.В. Клепиков // Радиационная гигиена. – Т. 10, № 2. – С. 51-56.

8. Швыдко Н.С. Физико-химическое состояние и обмен плутония и америция в организме / Н.С. Швыдко, Н.П. Иванова, С.И. Рушоник. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 143 с.

## **IS THERE A PROBLEM OF RADIATION ON THE POPULATION FROM AMERICIUM-241 OF CHERNOBYL ORIGIN**

*Semenenya I.N.*

Information on the pollution of Americium-241 and the isotopes of plutonium in the regions of the republic affected by the Chernobyl accident is analyzed. The possibility of forming significant doses of internal exposure on the population from americium-241 and all transuranium elements is considered. A preliminary conclusion has been made that a dose of internal irradiation from americium-241 that can cause any negative changes in the body while observing the requirements of radiation safety can not be formed on the territory of our republic.

## **ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЕЗВОЖЕННОГО САПРОПЕЛЯ В СОСТАВЕ КОМБИКОРМА НА СНИЖЕНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ $^{137}\text{Cs}$ И $^{90}\text{Sr}$ ИЗ РАЦИОНА В МОЛОКО КОРОВ**

*Царенок А.А., Наумчик А.В., Гвоздик А.Ф., Макаровец И.В.*

*РНИУП «Институт радиологии» НАН Беларуси, Республика Беларусь*

**Введение.** На территории Гомельской области в 2013-2016 гг. подразделениями ветеринарно-санитарного контроля были выявлены 12 молочно-товарных ферм и комплексов с превышением предельно допустимого содержания  $^{90}\text{Sr}$  в молоке, согласно действующих РДУ-99. Все они расположены на территории Брагинского, Добрушского и Хойникского районов. Снижение поступления  $^{90}\text{Sr}$  в молоко является более сложной проблемой по сравнению с проблемой снижения  $^{137}\text{Cs}$ . На практике, довольно часто, приходится сталкиваться с малыми концентрациями  $^{90}\text{Sr}$  в молоке (4,0-7,0 Бк/л), снижение которых весьма затруднительно.

Создание оптимальных условий производства молока в сельскохозяйственных предприятиях, расположенных на территории радиоактивного загрязнения, в первую очередь, предполагает обеспечение животных высококачественными кормами и необходимыми балансирующими кормовыми добавками. Однако реализация этого требования на практике является весьма сложной задачей, так как требует весьма значительных финансовых вложений, что не всегда может окупиться произведенной продукцией. В этих условиях производители продукции животноводства неизбежно сталкиваются с проблемой замены дорогостоящих кормовых добавок на отечественные аналоги, способные обеспечить заданный уровень продуктивности с меньшими финансовыми затратами.

Имеется также ряд препаратов с различной эффективностью сорбции  $^{90}\text{Sr}$  в ЖКТ животных и человека. К их числу относятся соединения, содержащие до 40-50 % карбоксильных групп (сырье – отходы хлопковых производств; препарат «Дегульман» (сырьё – морские водоросли); препарат «Альгисорб» и альгинат кальция. Однако, данные препараты разработаны для медицинских целей и используются в ограниченных количествах при острых отравлениях радионуклидами. Препараты достаточно дорогие и производство их ограничено. По этим причинам применение их в животноводческой практике не оправдано.

Поскольку для получения молока, отвечающего по содержанию  $^{90}\text{Sr}$  жестким нормативам (3,7 Бк/л), требования к препаратам, направленным на снижение поступления в организм, имеют свои специфические особенности. Препарат в сложившейся ситуации должен потребляться животными круглогодично (хронически). В этой связи синтезируемые соединения должны отвечать ряду требований – быть достаточно доступными для широкого использования (дешевыми), хорошо поедаемыми животными, не обладать токсическими свойствами на организм, не оказывать

отрицательного действия на качество продукции и быть высокоэффективными [1].

Одним из способов оптимизации содержания макро- и микроэлементов в рационах продуктивных животных является использование сапропелевых кормовых добавок.

Сапропель – осадки пресноводных водоемов, образующиеся из отмерших растительных и животных организмов, минеральных веществ биогеохимического происхождения и принесенных минеральных компонентов, имеющих зольность не более 85 %. Органическое вещество сапропеля состоит не только из образований самого озера, но и пополняется за счет поступлений с водосбора в виде коллоидных растворов. Накопление минеральных веществ происходит также за счет выпадения из раствора солей под влиянием геохимических процессов и в результате жизнедеятельности водных организмов. В итоге сложных физических, химических и биологических процессов сапропель обогащается, помимо органического вещества, кальцием, фосфором, серой, микроэлементами и другими биологически активными веществами. Ценность сапропеля определяется наличием в нем комплекса органических и минеральных веществ, соединения азота, фосфора, кальция, калия, серы, меди, молибдена и других микроэлементов.

Для приготовления сапропелевых добавок пригодны прежде всего сапропели, обогащенные кальцием ( $\text{CaCO}_3$ , не менее 12 %), карбонатного или смешанного типа, в которых содержание  $\text{SiO}_2$  не превышает 15 %, а  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 5 % на сухое вещество. Сапропели включают набор необходимых животному минеральных веществ: кальций, магний, железо, фосфор, калий, натрий, а также марганец, кобальт, йод, молибден, медь, цинк, хром. До 20 % фосфора и более 20 % кальция входят в состав подвижных форм и легко усваиваются сельскохозяйственными животными.

Согласно данным, полученным отечественными и зарубежными исследователями, в сухом веществе сапропеля содержится в среднем: органического вещества до 62 %; азота – 1,5 %; окиси кальция 21,0 %; окиси железа – 3,9 %. В 1 кг сапропеля содержится меди 1,1-5,0 мг, цинка – 9,8-16,6 мг; кобальта – 0,1-0,2 мг [2-3].

Для восполнения дефицита минеральных веществ в типовых рационах лактирующих коров нами был разработан состав комплексной минеральной добавки на основе обезвоженного сапропеля месторождения «Приболовичи» Лельчицкого района для ввода в состав комбикорма [4-5].

#### **Материалы и методы исследований.**

С целью изучения радиологической эффективности использования сапропеля в составе комбикорма (в рационах лактирующих коров) для получения молока, соответствующего РДУ-99, был проведен научно-хозяйственный опыт на базе молочно-товарного комплекса «Стреличево» КСУП «Стреличево» Хойникского района Гомельской области (табл. 1).

**Таблица – 1** Схема постановки опыта по методу пар-аналогов

Группы	Среднесуточный удой на начало опыта, л	Уравнительный период	Переходный период	Главный (учетный) период
Контрольная, n=10	22,5	ОК	ОК	ОК
Опытная, n=10	22,3	ОК	ОК+А (постепенно)	ОК+А
Продолжительность периода, суток		15	10	60

Контрольная и опытная группы животных во все периоды опыта получали основной комплекс (ОК) факторов кормления и содержания. В состав основного комплекса факторов кормления входили зеленая масса культур зеленого конвейера (45-60 кг на голову в сутки) и комбикорм КК-60 (0,3 кг на 1 л надоенного молока).

Опытной группе в переходный период постепенно начали вводить изучаемый фактор (А), который состоял из комбикорма КК-60 с вводом 3 % обезвоженного сапропеля карбонатного типа месторождения «Приболовичи» Лельчицкого района. В главный период опытная группа получала изучаемый фактор в полном объеме.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями Russian Regulations, 1987 (Order No.755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) and «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996)». При выполнении исследований были предприняты усилия, что бы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества используемых образцов.

Исследование проб молока и кормов проводилось в лаборатории массовых анализов РНИУП «Институт радиологии» при помощи ААС-спектрометрического,  $\gamma$ - спектрометрического и радиохимического методов.

#### **Результаты исследований.**

Известно, что содержание и источник поступления кальция в рацион лактирующих коров существенно влияют на переход  $^{90}\text{Sr}$  из корма в молоко. Введение в рацион коров кормового кальция на фоне нормального и дефицитного содержания его позволяет существенно снизить поступление  $^{90}\text{Sr}$  из корма в молоко. Использование рационов, дефицитных по кальцию вызывает существенное увеличение количества  $^{90}\text{Sr}$  в молоке. На обмен  $^{90}\text{Sr}$  влияет не только содержание, но и источник кальция в рационе.

В проведенном эксперименте рационы были максимально сбалансированы по основным элементам энергетического и минерального питания, но отличались по источникам поступления кальция в рационы из минеральных подкормок. Содержание радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) в рационах всех групп подопытных животных за период проведения эксперимента было подвержено незначительным колебаниям и в среднем составляло:  $^{90}\text{Sr}$  –  $1728 \pm 211$  Бк/сутки,  $^{137}\text{Cs}$  –  $387 \pm 84$  Бк/сутки.

В таблицах 2-3 приведена динамика изменения содержания  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в молоке лактирующих коров за 30 суток проведения эксперимента.

**Таблица 2** – Динамика изменения содержания  $^{90}\text{Sr}$  в молоке лактирующих коров за 30 суток периода проведения эксперимента

Наименование групп	Сутки отбора							Кратность снижения
	0	5	10	15	20	25	30	
Контрольная	1,2±0,3	2,1±0,3	1,8±0,3	2,0±0,4	2,2±0,5	2,1±0,4	2,2±0,5	–
1 опытная *	1,2±0,3	1,7±0,7	1,0±0,5	1,3±0,6	1,0±0,3	1,1±0,3	1,3±0,3	1,7
2 опытная **	1,2±0,3	2,1±0,5	1,6±0,4	1,2±0,3	1,2±0,2	1,3±0,4	1,7±0,4	1,3

\* – с вводом в состав комбикорма обезвоженного сапропеля карбонатного типа.

\*\* – с вводом в состав комбикорма обезвоженного сапропеля органического типа.

Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в молоке коров контрольной группы находилась на уровне 1,2-2,2 Бк/л, в 1-й опытной группе – 1,0-1,7 Бк/л, во 2-й опытной группе – 1,2-2,1 Бк/л. Кратность снижения  $^{90}\text{Sr}$  в молоке коров на 30-ые сутки эксперимента по отношению к контрольной группе составила: в первой опытной группе 1,7 раз, во второй опытной – 1,3 раз.

**Таблица 3** – Динамика изменения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в молоке лактирующих коров за 30 суток проведения эксперимента

Наименование групп	Сутки отбора							Кратность снижения
	0	5	10	15	20	25	30	
Контрольная	6,2±0,6	1,0±0,4	2,3±0,5	2,7±0,6	1,5±0,5	2,9±0,6	2,5±0,4	–
1 опытная *	5,5±0,7	2,1±0,5	2,6±0,6	2,4±0,6	1,8±0,4	2,2±0,3	2,1±0,3	1,2
2 опытная **	6,6±1,2	2,0±0,4	2,1±0,6	1,7±0,3	2,1±0,5	1,6±0,3	2,3±0,5	1,1

\* – с вводом в состав комбикорма обезвоженного сапропеля карбонатного типа

\*\* – с вводом в состав комбикорма обезвоженного сапропеля органического типа

Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в молоке коров контрольной группы находилась на уровне 1,0-6,2 Бк/л, в 1-й опытной группе – 1,8-5,5 Бк/л, во 2-й опытной группе – 1,6-6,6 Бк/л.

**Таблица 4** – Коэффициенты перехода радионуклидов из рационов в молоко за 30 суток проведения эксперимента

Наименование групп	Сутки отбора						
	0	5	10	15	20	25	30
$^{137}\text{Cs}$							
Контрольная	1,6	0,3	0,6	0,7	0,4	0,7	0,6
1-я опытная	1,4	0,5	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5
2-я опытная	1,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,6
$^{90}\text{Sr}$							
Контрольная	0,07	0,12	0,10	0,12	0,13	0,12	0,13
1-я опытная	0,07	0,10	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08
2-я опытная	0,07	0,12	0,09	0,07	0,07	0,08	0,10

Как видно из данных, приведенных в таблице 4 коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  из рационов в молоко, в разрезе сравниваемых групп, находились в диапазоне значений от 0,3 до 1,7. Коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  из рационов в молоко, в разрезе сравниваемых групп составили – 0,07-0,13.

### Литература

1. Ведение животноводства в условиях радиоактивного загрязнения / В.С.Аверин, Р.М.Алексахин, С.А.Калиниченко и др. // Под общ. ред. В.С.Аверина. – Гомель: 2006. – 159 с.
2. Пестис В.К. Обоснование использования озерных сапропелей в практике кормления сельскохозяйственных животных и птицы// Автореф. Дис.д-ра с.-х. наук, Жодино, 1997 г.
3. Горячев И.И. Использование сапропеля озера Червоное в комбикормах дойных коров/ Горячев И.И., Калаур М.Г., Савчиц Н.А.// Зоотехническая наука Беларуси. Сб.науч.тр – Жодино, 2008, т.43. с.51-58.
4. Разработать и научно обосновать применение в кормлении крупного рогатого скота, содержащегося на территории радиоактивного загрязнения, кормовых добавок, на основе местных источников минерального сырья: отчет о НИР (заключ.) / РНИУП «Институт радиологии»; рук. темы А.А. Царенок. - Гом., 2013. – 37 с. – № ГР 01870082247.
5. Самохин В.Т. Профилактика нарушений обмена микроэлементов у животных. - М., Колос, 1981. - 144 с.

## ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ВОДОПЛАВАЮЩЕЙ ПТИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЛИЧНЫХ ПОДСОБНЫХ ХОЗЯЙСТВ НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*Царенок А.А., Наумчик А.В., Гвоздик А.Ф., Макаровец И.В.*

*РНИУП «Институт радиологии» НАН Беларуси, Республика Беларусь*

**Введение.** Водоплавающая птица неприхотлива к различным природно-климатическим условиям, устойчива ко многим заболеваниям в сравнении с курами и индейками. Выращивание её с использованием пастбищ и на водоемах снижает стоимость кормления, что немаловажно в условиях личных подсобных и фермерских хозяйств. Однако, в ряде районов, подвергшихся в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС радиоактивному загрязнению, в личных подсобных хозяйствах невозможно получение продукции птицеводства (мяса), отвечающего нормативным требованиям, в частности, по содержанию  $^{137}\text{Cs}$ . Основной причиной получения мяса водоплавающей птицы в личных подсобных хозяйствах с превышением нормативов по содержанию радионуклидов является потребление водоплавающей птицей зеленых кормов, водной растительности и биомассы водоемов с высоким содержанием радиоактивного цезия. Ряд авторов [1-3] приводят данные о переходе  $^{137}\text{Cs}$  из рациона в продукцию

птицеводства (мясо бройлеров, уток) при хронической затравке птицы радиоизотопом  $^{137}\text{Cs}$ . Данные о параметрах перехода  $^{137}\text{Cs}$  из рациона в организм гусей и уток, а также о способах снижения перехода  $^{137}\text{Cs}$  в организм водоплавающей птицы в традиционных условиях содержания и кормления личных подсобных хозяйств, пострадавших районов Гомельской области, недостаточно изучены.

**Целью исследований** являлось изучение уровней накопления и параметров перехода радионуклидов в мясо водоплавающей птицы (утки, гуси) и эффективности сорбента ферроцина в ЛПХ на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению.

**Материалы и методы исследований.** Научно-производственный эксперимент по изучению перехода  $^{137}\text{Cs}$  из рациона в организм водоплавающей птицы и разработке способов снижения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани проводился в д. Дубовый Лог Добрушского района. Плотность загрязнения территории основного места выпаса и выгула гусей и уток  $^{137}\text{Cs}$  составляла от 629 до 777 кБк/м<sup>2</sup>. Объектом исследований являлись утки пекинской породы и гуси рейнской породы. Коэффициенты пропорциональности  $^{137}\text{Cs}$  из корма в тушки и мышечную ткань определялись на протяжении 106 суток эксперимента. В течение 30 дней, на заключительной стадии эксперимента, опытная группа птицы получала препарат ферроцин в дозе 0,3 г/гол в сутки.

Отбор проб кормов для  $\gamma$ - спектрометрии проводился каждые 15 суток эксперимента и перед забоем птицы. Контрольный убой гусей и уток проводился перед началом и через каждые 15 суток эксперимента. На ранних сроках эксперимента содержание  $^{137}\text{Cs}$  определяли в целой потрошенной тушке птицы (мышечная и костная ткань). С увеличением живого веса птицы концентрацию  $^{137}\text{Cs}$  определяли в мышечной ткани окорочка. Определение  $^{137}\text{Cs}$  в рационе и мышечной ткани уток и гусей проводилось на гамма – спектрометрах Canberra и TENNELEC.

#### **Результаты исследований.**

Основной вклад в загрязнение организма водоплавающей птицы вносила зеленая пастбищная растительность, удельная активность которой варьировала в зависимости от места выпаса от 24,9 до 293,0 Бк/кг. Вклад водной фитомассы и животной компоненты рациона из-за низкой удельной активности был незначителен (водная фитомасса – 2,06 Бк/кг, водные и наземные беспозвоночные - 46,8 Бк/кг). В течение всего эксперимента рацион был не постоянным и определялся сезонными и погодными условиями.

Коэффициенты пропорциональности (т.е. отношение удельной активности в продукции к удельной активности корма)  $^{137}\text{Cs}$  из 1 кг пастбищной травы в 1 кг мышечной ткани варьируют для гусей от 0,31 до 1,63, для уток от 0,08 до 0,84 при традиционном способе вольерно-выгульного содержания, используемого в личных подсобных хозяйствах. Величина коэффициентов пропорциональности, проведенная для наиболее

стабильных периодов потребления загрязненной травы, составила для гусей и уток, соответственно, 0,57 и 0,18. Колебание коэффициентов пропорциональности обусловлено как динамикой загрязнения пастбищной травы, так и физиологическими особенностями накопления радионуклидов при росте птицы. В связи с тем, что определяющим фактором уровня радиоактивного загрязнения продукции является содержание  $^{137}\text{Cs}$  в кормах, с помощью коэффициентов пропорциональности можно рассчитать максимально допустимое содержание  $^{137}\text{Cs}$  в 1 кг корма водоплавающей птицы (табл. 1), обеспечивающее получение продукции, отвечающей нормативным требованиям.

**Таблица 1** – Максимально допустимое содержание  $^{137}\text{Cs}$  в 1 кг пастбищной травы, обеспечивающее получение мяса водоплавающей птицы отвечающего нормативным требованиям

Продукт	Нормативное содержание $^{137}\text{Cs}$ в 1 кг мышечной ткани (РДУ-99), Бк/кг	Максимальные значения коэффициентов пропорциональности из 1 кг корма в 1 кг продукции	Допустимое содержание $^{137}\text{Cs}$ в 1 кг зеленого корма, Бк/кг
Мясо гусей	180	1,63	110,4
Мясо уток	180	0,84	214,3

Фисинин В.И. с соавторами [4] приводят примерные нормы потребности гусей в зеленых кормах. На основании этих норм был рассчитан коэффициент перехода  $^{137}\text{Cs}$  из суточного рациона в мышечную ткань. Расчетные коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  из рациона в мышечную ткань гусей колебались от 0,52 до 2,73, что обусловлено неравномерной динамикой загрязнения рациона. Усредненный коэффициент перехода  $^{137}\text{Cs}$  из рациона в мышечную ткань гусей составил для стабильных периодов 0,95.

Одним из показателей, определяющих возможность получения сельскохозяйственной продукции, соответствующей нормативным требованиям по содержанию радионуклидов, служит уровень радиоактивного загрязнения почв.

Произведен расчет пределов загрязнения территории, на которой мясо уток и гусей будет соответствовать нормативным значениям, используя коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  из различных типов почв в естественный травостой (табл. 2). Расчеты показали, что при содержании уток на территории с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  для минеральных почв до 40 Ки/км<sup>2</sup>, торфяно-болотных и лесных до 20 Ки/км<sup>2</sup> гарантированно получение мяса птицы в возрасте более 4 месяцев в соответствии с РДУ-99. Для гусей этот показатель составляет до 20 Ки/км<sup>2</sup> для минеральных почв и до 5 Ки/км<sup>2</sup> для торфяно-болотных и лесных почв.

**Таблица 2** – Максимальная плотность загрязнения территории с естественным травостоем для нормативного содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани водоплавающей птицы при убое в возрасте более 4 месяцев

Тип почвы	Минеральные	Торфяно-болотные	Пойменные		Лесные
			Торфяно-болотные	Минеральные	
Предел загрязнения территории для гусей, Ки/км <sup>2</sup>	29	7	10	26	7
Предел загрязнения территории для уток, Ки/км <sup>2</sup>	93	23	30	82	21

На втором этапе опытной группе водоплавающей птице скармливали вместе с комбикормом 0,3 г/гол в сутки ферроцина. Исходя из данных, представленных в таблице 3, содержание  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани уток возрастает на 15 сутки эксперимента на 19 % в опытной группе и на 97 % в контрольной. На 30-ые сутки удельная активность мышечной ткани в опытной группе снизилась на 35 %, по сравнению с исходным значением, а в контрольной она выше исходного значения на 26 %.

**Таблица 3** Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани уток и гусей при использовании ферроцина, Бк/кг.

Назначение группы	Доза препарата г/гол/сут.	Исходное значение Бк/кг	Сроки эксперимента, сутки	
			15	30
Утки контроль	–	28,4±5,6	55,9±1,8	35,7±6,2
Утки опытная	0,3	28,4±5,6	33,8±4,6	18,6±4,3
Гуси контроль	–	113,1±12,6	100,0±6,1	65,4±4,7
Гуси опытная	0,3	113,1±12,6	74,5±4,45	37,8±3,9

Скармливание ферроцина в дозе 0,3 г/гол в сутки вместе с комбикормом гусям также показывает, что на 30-ые сутки снижение активности мышечной ткани в опытной группе на 67 %, по сравнению с исходным значением, в контрольной на 42 %. Снижение удельной активности мышечной ткани у гусей происходит на всем протяжении эксперимента. Это объясняется тем, что птица перешла на корм плохобуранных полей и доля пастбищной травы в рационе снизилась.

Таким образом, применение комбикормов с ферроцианидами уткам и гусям в течение 15 дней позволяет снизить концентрацию радионуклида в 1,6 раза у уток и в 1,3 раза у гусей. На 30 сутки применения препарата снижение составляет 1,9 раза у уток и 1,7 раза у гусей.

Следует отметить, что одним из способов снижения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мясе птицы является варка. Варка тушки птицы в несоленой воде (соотношение тушка-вода 1:3) в течение 1 часа после закипания приводит к уменьшению концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в ее частях примерно в 3 раза [5]. Если варка проводится для снижения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мясе птицы, бульон необходимо выливать.

**Заключение.** Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани водоплавающей птицы на территории радиоактивного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  17-21 Ки/км<sup>2</sup> не

превышало нормативных значений. При содержании водоплавающей птицы в традиционных условиях личных подсобных хозяйств на территории радиоактивного загрязнения, коэффициенты пропорциональности  $^{137}\text{Cs}$  из пастбищной травы в мышечную ткань уток варьировали от 0,08 до 0,84 составляя в среднем 0,18, гусей – от 0,31 до 1,63, в среднем 0,57.

Скармливание сорбента ферроцина водоплавающей птице в дозе 0,3 г/голову в сутки в течение 30 суток способствовало снижению содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани опытных групп по сравнению с контролем у уток в 1,9; у гусей в 1,7 раза.

### Литература

1. Колдаева К.А., Сарапульцев И.А. О некоторых закономерностях обмена цезия-137 в организме кур / Доклад ВАСХИИЛ. 1972. №3. – С.34-37.
2. Корнеев А.Н., Сироткин Н.А., Корнеева Н.В. Снижение радиоактивности в растениях и продуктах животноводства. - М.: Колос, 1977. – 237 с.
3. Буров Н.И. Метаболизм стронция-90 , цезия-137 , кобальта-60 и натрия-22 в организме домашних уток // Вторая Всесоюзная конференция по сельскохозяйственной радиологии: Тез. докл. Том 2. Обнинск, 1984. – С.23-25.
4. В.И. Фисинин и др. Промышленное птицеводство. – М.: Колос, 1978. – 367 с.
5. Рекомендации по безопасному проживанию и ведению личного подсобного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения территории. Гомель, 2003 – 98 с.

## ТИПОЛОГИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

*Цыбулько Н.Н.*

*Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт почвоведения и агрохимии» Национальной академии наук Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь*

**Развитие агроэкологической типологии и классификации земель.** Высокий удельный вес сельскохозяйственных земель в структуре земельного фонда на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, определяет важность повышения эффективности аграрного землепользования как одного из основных условий реабилитации и социально-экономического развития пострадавших территорий.

Эффективное использование сельскохозяйственных земель во многом зависит от полноты учета степени и характера дифференциации почвенного

покрова, геоморфологических и ландшафтных условий территории, других лимитирующих факторов.

Результаты современных исследований свидетельствуют, что при выработке направлений наиболее эффективного использования почвенно-земельных ресурсов основным принципом должен быть принцип дифференциации, предполагающий деление сельскохозяйственных земель на категории по радиологической и агрономической пригодности почв. Для реализации рассматриваемого подхода требуется адекватная агроэкологическая оценка и систематизация земель.

Задачи агроэкологической оценки земель заключаются в том, чтобы идентифицировать агрономически значимые параметры земель в соответствии с агроэкологическими требованиями сельскохозяйственных культур и агротехнологий, определить ландшафтные связи между ними.

Выявление факторов дифференциации почвенного покрова и формирование на его основе классификационных территориальных единиц основывается на агроэкологической типизации земель.

К настоящему времени имеется множество работ, связанных с оценкой, систематизацией, классификацией и типизацией земель.

В течение последних двух десятилетий в России под руководством академика В.И. Кирюшина разработана система агроэкологической типизации и ландшафтно-экологической классификации земель, которые являются основой для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия. В качестве первичного структурного элемента для выделения типов предложен элементарный ареал агроландшафта, под которым понимается «участок на элементе мезорельефа, ограниченный элементарным почвенным ареалом или элементарной почвенной структурой, при одинаковых геологических, литологических и микроклиматических условиях» [1, 2].

Многолетние широкомасштабные исследования по агропроизводственной оценке почв ведутся в Институте почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. Проведена общая агропроизводственная группировка почв Беларуси, количественный учет почвенных ресурсов. Данные о пригодности почв для возделывания сельскохозяйственных культур являются основой при внутрихозяйственном устройстве территории, формировании оптимальной структуры посевных площадей на уровне области, района, хозяйства, организации севооборотов [3-5].

В Беларуси также известна типология земель на основе изучения структуры почвенного покрова, разработанная Романовой Т.А. [6]. Данная типология базируется на принципах деления территории по общности литолого-геоморфологических факторов (рельеф, состав и строение почвообразующих пород), которые определяют главные черты структуры почвенного покрова и ее отдельных частей. Рельеф характеризовался по трем уровням: общности доминирующих морфологических признаков; геоморфологическим особенностям; относительной высоте. По первому

признаку выделены земли водоразделов, крупных депрессий (понижений) и широких пойм. Второй уровень дифференциации отражает геоморфологическое разнообразие – водоразделы фрагментарные, выпуклые и плоские, крупные депрессии и широкие поймы, по относительной и абсолютной высоте – высокие и низкие. Разнообразие почвообразующих и подстилающих пород сведено к следующим типам: рыхлые (песчаные и рыхлые супеси на песках); двучленные без водоупора (супеси и суглинки, подстилаемые песками); двучленные с водоупором (суглинки, супеси и пески, подстилаемые водоупорными породами); суглинистые; глинистые; торф. Кроме того, может выделяться аллювий разного генезиса (рыхлый, связный, торф).

**Методика и схема типизации земель на территории радиоактивного загрязнения.** Анализ развития проблемы агроэкологической типологии и классификации земель позволяет заключить, что тип земель должен содержать информацию о почвенном покрове, его структуре и составе, о геоморфологических, литологических особенностях и агроэкологическом состоянии. На основании данного положения сформулированы следующие основные принципы типизации земель:

типизация строится в единой для всей территории системе соподчиненных таксономических единиц, отображающих объективно существующие различия природно-экологических условий на разных уровнях территориального деления;

типизация земель осуществляется на агроэкологической основе, в которой согласуются физико-географический и сельскохозяйственный подходы к учету природно-экологических условий с приоритетом агроэкологических признаков;

типизация служит основой для планирования, эффективного использования и охраны сельскохозяйственных земель, определения соответствия фактического использования их потенциальным возможностям и установления целесообразности существующего целевого их использования либо перевода их в другой вид земель или консервацию;

типизация является естественнонаучной основой организации землепользования и размещения сельскохозяйственного производства, систем земледелия и агротехнологий.

Для реализации обозначенных принципов необходимо решение следующих основных задач:

выявление степени пригодности земель для сельскохозяйственного использования;

установление (для их эффективного использования) пригодных и непригодных земель сельскохозяйственного назначения;

определение степени соответствия фактического использования земель их потенциальным возможностям;

определение земель, которые могут быть включены в специальные земельные фонды при соблюдении условий, предусмотренных земельным законодательством Беларуси.

Следует отметить, что типизация сельскохозяйственных земель, загрязненных радионуклидами, имеет свои особенности по сравнению с традиционной землеоценкой. Она включает в себя два важных аспекта:

оценку земель с точки зрения возможности получения сельскохозяйственной продукции, отвечающей гигиеническим нормативам по содержанию радионуклидов;

оценку влияния почвенно-ландшафтных характеристик земель на миграцию, перераспределение и концентрирование радионуклидов в компонентах агроэкосистем, что в значительной мере определяет степень опасности загрязнения.

Следовательно, при оценке земель, подверженных радиоактивному загрязнению, должны учитываться два методологических подхода – санитарно-гигиенический и агроэкологический. В рамках санитарно-гигиенического подхода к агроэкологической оценке земель решается задача возможности использования их для получения продукции, соответствующей установленным нормативам. В основе его лежит соблюдение принципов и нормативов радиационной безопасности населения. Основными критериями оценки степени радиоактивного загрязнения земель являются допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах, сельскохозяйственном сырье и кормах. С учетом количественных показателей подвижности и биологической доступности радионуклидов в агроэкосистемах определяются пределы радиоактивного загрязнения почв для получения нормативно чистой продукции.

Обоснование видов и объемов защитных мероприятий должны быть, с одной стороны, адаптированы по агроэкологическим типам земель, а с другой – к технологиям возделывания сельскохозяйственных культур. Решение данной проблемы возможно только путем оптимизации землепользования, дифференцированного размещения посевов сельскохозяйственных культур и целевого использования конечной продукции с учетом ее загрязнения.

В основу типологии загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель был положен «агроэкологический тип земель», представляющий собой агрономическую интерпретацию большого многообразия компонентов почвенного покрова, выделяемых на почвенных картах. Ведущим критерием выделения типов земель приняты почвенные мезокомбинации, их компонентный состав и соотношение основных компонентов. Документальной основой при этом служили почвенные карты масштаба 1:10 000.

Под типом земель понимается отчетливо представленный на местности земельный участок, соизмеримый с единицей хозяйственного использования, с однотипным строением мезорельефа, одной группой почвообразующих

пород, занятой одной почвенной мезокомбинацией, совокупные свойства которой с учетом радиоактивного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и (или)  $^{90}\text{Sr}$  определяют направление сельскохозяйственного использования территории, применение защитных и противоэрозионных мероприятий.

При типизации земель проведен анализ закономерностей пространственного изменения почвенного покрова, выявлены факторы дифференциации, установлен характер взаимодействия между компонентами и определены тем самым почвенные комбинации, проводилась радиологическая оценка компонентов почвенного покрова.

Для качественной и количественной оценки условий при проведении типизации земель, загрязненных радионуклидами, систематизировались данные о рельефе, почвообразующих породах, составе и соотношении земель, компонентном составе почв и их агроэкологическом состоянии, кадастровой оценке земель.

*Особенности рельефа.* Территория радиоактивного загрязнения характеризуется средней протяженностью склонов и соотношением площадей с различными уклонами (до  $1^0$ , 1-3, 3-5, 5-7, более  $7^0$ ). Эти данные необходимы для организации территории, определения противоэрозионных мероприятий, оценки горизонтальной миграции и перераспределения радионуклидов в агроландшафтах.

*Почвообразующие породы.* Имеющиеся в республике материалы крупномасштабных почвенных исследований содержат достаточное количество информации о почвообразующих и подстилающих породах. Такие данные необходимы для выбора площадей под требовательные к условиям возделывания сельскохозяйственные культуры.

*Структура почвенного покрова (СПП) и агроэкологическое состояние почв.* При выполнении типизации земель этот показатель является одним из главных критериев выделения таксономических единиц. Наряду с данными о типовой принадлежности почв, их гранулометрическом составе, заболоченности, контурности земель необходимы данные об СПП (размеры и формы ареалов, показатели сложности, контрастности и неоднородности).

Различия по показателям, необходимым для выделения типа земель, составляют: суглинистые и глинистые почвы – 10%; супесчаные – 20%; песчаные – 20%; торфяно-болотные – 10%; заболоченность – 10%; эродированность – 5%; контурность – 5 га.

На территории радиоактивного загрязнения выделено 8 типов земель, которые приурочены к определенным категориям рельефа, различаются составом почвенного покрова, соотношением его основных компонентов, совокупностью свойств составляющих его компонентов, их общим экологическим состоянием, характером сельскохозяйственного использования, величиной продуктивности земель и значениями их кадастровой оценки, другими существенными природными характеристиками:

I. Высокие пологоволнистые на дерново-подзолистых мощных суглинистых и супесчаных, сменяемых моренными суглинками с глубины менее 1 м почвах с участием слабопереувлажненных и эродированных почв.

II. Высокие пологоволнистые на дерново-подзолистых суглинистых и связносупесчаных, подстилаемых песками ближе 1 м почвах, с участием слабопереувлажненных, с включением эродированных почв.

III. Приподнятые плоско-волнистые на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных и песчаных, сменяемых ближе 1 м песками или подстилаемых глубже 1 м мореной, почвах, с участием слабопереувлажненных и включением дефлированных и дефляционноопасных почв.

IV. Пониженные равнинные среднереувлажненные на дерново-подзолистых заболоченных супесчаных и песчаных преимущественно осушенных дефляционноопасных почвах.

V. Низкие плоские сильнопереувлажненные на дерновых заболоченных супесчаных и песчаных, преимущественно осушенных дефляционноопасных почвах с участием суглинистых и торфяно-болотных почв.

VI. Ложбинно-котловинные сильнозаболоченные на торфяно-болотных осушенных дефляционноопасных почвах с участием дегроторфяных почв.

VII. Пойменные сильнопереувлажненные на аллювиальных дерновых заболоченных почвах разного гранулометрического состава.

VIII. Старопойменные плоско-волнистые слабо- и среднепереувлажненные на дерново-карбонатных суглинистых и супесчаных почвах, с участием осушенных почв.

Первый тип земель представлен преимущественно дерново-подзолистыми почвами (65-70%). Порядка 20-25% занимают дерново-подзолистые заболоченные глееватые и глеевые почвы и незначительную долю (10-15%) дерново-подзолистые эродированные почвы (таблица 1).

Для второго типа земель также характерно преобладание дерново-подзолистых почв (60-65%), 15-20% занимают дерново-подзолистые заболоченные глееватые и глеевые почвы, 5-10% – дерново-подзолистые эродированные, 10-15% – дерново-подзолистые дефляционноопасные почвы и 1-5% – торфяно-болотные осушенные дефляционноопасные почвы.

Таблица 1. Структура почвенного покрова разных типов земель

Компонентный состав почв, %	Номер типа земель							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Дерново-подзолистые	65-70	60-65	10-15	-	-	-	-	-
Дерново-подзолистые эродированные	10-15	5-10	1-5	-	-	-	-	-
Дерново-подзолистые дефляционноопасные	-	10-15	70-75	15-20	-	-	-	-

Дерново-подзолистые заболоченные глееватые и глеевые	20-25	15-20	20-25	15-20	-	-	-	-
Дерново-подзолистые заболоченные осушенные дефляционноопасные	-	-	-	65-70	10-15	-	-	-
Дерновые заболоченные осушенные дефляционноопасные	-	-	-	-	65-70	15	-	10
Торфяно-болотные осушенные дефляционноопасные	-	1-5	5-10	7-10	14	60	-	10
Торфяно-минеральные осушенные дефляционноопасные	-	-	-	-	5	10	-	-
Остаточно торфянистые осушенные дефляционноопасные	-	-	-	-	5	10	-	-
Минеральные постторфяные осушенные дефляционноопасные	-	-	-	-	-	5	-	-
Аллювиальные (пойменные)	-	-	-	-	-	-	100	-
Дерново-карбонатные старопойменные	-	-	-	-	-	-	-	80

Третий тип земель представлен дерново-подзолистыми дефляционноопасными почвами (70-75%). На пониженных элементах рельефа расположены (20-25%) дерново-подзолистые заболоченные глееватые и глеевые почвы и 10-15% могут занимать дерново-подзолистые почвы.

Четвертый тип земель включает дерново-подзолистые заболоченные осушенные и дефляционноопасные (65-70%), дерново-подзолистые дефляционноопасные (15-20%), осушенные дерново-подзолистые заболоченные глееватые и глеевые (15-20%) и торфяно-болотные (7-10%) почвы.

Для пятого типа земель характерно преобладание дерновых заболоченных осушенных дефляционноопасных почв (65-70%), встречаются также дерново-подзолистые заболоченные осушенные дефляционноопасные почвы (10-15%), торфяно-болотные (до 14%), деградированные торфяно-минеральные и минеральные остаточно-торфяные (до 5%) дефляционноопасные почвы.

Шестой тип земель представлен торфяно-болотными (60%), дерновыми заболоченными осушенными дефляционноопасными (до 15%) почвами, а

также деградированными торфяно-минеральными, минеральными остаточноторфяными и минеральными постторфяными почвами (5-10%).

К седьмому типу земель приурочены аллювиальные (пойменные) почвы (100%). Восьмой тип земель включает дерново-карбонатные почвы с мощным гумусовым горизонтом (до 80%), а также дерновые заболоченные и торфяно-болотные почвы (до 10%).

**Агроэкологическая характеристика типов земель.** Выделенные на территории радиоактивного загрязнения типы земель различаются между собой по свойствам почв и агроэкологическому состоянию (таблица 2).

Для первого и второго типов земель характерно преобладание в составе почвенного покрова почв по гранулометрическому составу супесчаных почв (47%). По 25-29 и 24% занимают соответственно суглинистые и песчаные почвы. Заболоченность этих двух типов земель колеблется от 20 до 30%, подвержено водной эрозии 6 и 11%. Контурность составляет 25-35 га.

Таблица 2. Агроэкологическое состояние выделенных типов земель

Номер типа земель	Гранулометрический состав, %				Заболоченность	Эродированность	Дефляционная опасность	Контурность, га
	суглинистые	супесчаные	песчаные	торфяные				
I	29	47	24	-	20	11,2	-	35
II	25	47	24	4	30	5,8	10,0	25
III	3	43	48	6	38	3,4	70,0	20
IV	-	34	58	8	56	3,0	85,0	22
V	7	31	48	14	60	1,4	85,0	18
VI	-	5	20	75	82	-	75,0	30
VII	аллювий разного состава				90	-	-	26
VIII	26	33	24	17	71	-	20,0	27

Третий тип земель представлен преимущественно легкими по гранулометрическому составу песчаными (48%) и рыхлосупесчаными (43%) почвами. Порядка 6% занимают торфяно-болотные почвы. Дефлированность данного типа земель в среднем 3%, заболоченность – 38%, контурность – 20 га. До 70% почв являются дефляционноопасными.

В четвертом типе земель основной удельный вес приходится на дефляционноопасные песчаные (58%) и супесчаные (34%) почвы. Заболоченность их достигает 56%, подвержено дефляции 3,0% почвы и 85,0% являются дефляционноопасными.

Для пятого типа земель характерно наличие почв разного гранулометрического состава: 48% супесчаных, 31 – песчаных и 7% - суглинистых почв. До 14% занимают торфяно-болотные почвы. Заболоченность этого типа земель составляет 60%, дефлированность – 1,5% и 85% - дефляционноопасных почв.

Шестой тип земель представлен в основном (75%) торфяно-болотными и деградированными торфяно-минеральными, минеральными остаточно-торфяными и минеральными постторфяными почвами. Седьмой тип земель представлен почвами, сформированными на аллювии разного гранулометрического состава. Заболоченность их составляет около 90%. Для восьмого типа земель характерно наличие почв разного гранулометрического состава, в том числе до 17% торфяно-болотных почв. Заболоченность их составляет 71%, дефляционная опасность – 20%.

**Пригодность разных типов земель под сельскохозяйственные культуры.** Проведена радиологическая оценка разных типов земель по пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур в зависимости от целевого назначения получаемой продукции и определено рекомендуемое их использование, а также ограничения по возделыванию тех или иных культур.

На первом и втором типах земель нет ограничений по плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  для возделывания озимой ржи и озимой пшеницы на пищевые цели. Нормативно чистое зерно яровой пшеницы, ячменя и овса можно получать при плотности загрязнения почв до  $15 \text{ Ки/км}^2$ , а на более высоких плотностях – зерно яровой пшеницы и ячменя при оптимальных показателях почвенного плодородия. Возделывание гороха ограничено плотностью загрязнения почв с оптимальными параметрами плодородия  $5 \text{ Ки/км}^2$ , проса –  $5 \text{ Ки/км}^2$ . Картофель на пищевые цели и овощные культуры практически не имеют ограничений по плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ .

На третьем и четвертом типах земель возможно получать нормативно чистое пищевое зерно озимой ржи и озимой пшеницы, картофель, свеклу и морковь при плотности загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  до  $30 \text{ Ки/км}^2$  и оптимальных параметрах почвенного плодородия, зерно яровой пшеницы и ячменя – при  $15 \text{ Ки/км}^2$ , зерно овса и проса на третьем типе – до  $15 \text{ Ки/км}^2$ , на четвертом – до  $10 \text{ Ки/км}^2$ . Непригодны данные типы земель под горох на пищевые цели.

Пятый и восьмой типы земель при оптимальных значениях плодородия почв пригодны под озимую рожь, озимую и яровую пшеницу и ячмень для получения пищевого зерна при плотности загрязнения радионуклидом до  $15 \text{ Ки/км}^2$ , под овес – до  $10 \text{ Ки/км}^2$ . Непригодны эти земли для возделывания гороха и проса. Картофель, свеклу и морковь возможно размещать при плотности загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  на пятом типе земель до  $30 \text{ Ки/км}^2$ , на восьмом – до  $15 \text{ Ки/км}^2$ .

На шестом типе возможно возделывать только озимую рожь, озимую и яровую пшеницу и ячмень на пищевые цели при плотности загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  до  $5 \text{ Ки/км}^2$ , картофель, свеклу и морковь – до  $15 \text{ Ки/км}^2$ .

На первом-пятом типах земель возможно возделывание озимой ржи и озимой пшеницы на пищевые цели и картофеля при плотности загрязнения почв  $^{90}\text{Sr}$  до  $0,30 \text{ Ки/км}^2$ , яровой пшеницы, ячменя и овса – до  $0,15$ , проса – до  $0,50$ , овощных культур (свекла, морковь) – до  $1,0 \text{ Ки/км}^2$ . Посевы гороха

допустимо размещать на первом, втором и пятом типах земель при плотности загрязнения 0,15 Ки/км<sup>2</sup> и оптимальном почвенном плодородии.

Загрязненные <sup>90</sup>Sr ложбинно-котловинные сильнозаболоченные земли шестого типа и пойменные сильнопереувлажненные земли седьмого типа непригодны для возделывания зерновых, зернобобовых культур, проса и картофеля на пищевые цели, а также овощных культур. Старопойменные плоско-волнистые земли восьмого типа пригодны под озимую рожь и пшеницу, просо, картофель при загрязнении <sup>90</sup>Sr до 0,50 Ки/км<sup>2</sup>, яровой пшеницы, ячменя, овса, гороха – 0,15, свеклы и моркови – до 1,0 Ки/км<sup>2</sup>.

### Литература

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологии. Методическое руководство / под ред. В.И. Кирюшина, Л.И. Иванова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех». – 2005. – 784 с.

2. Кирюшин, В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов/В.И. Кирюшин. – М.: КолосС, 2011. – 443 с.

3. 299. Горкунов, В.А. Структура почвенного покрова пахотных земель северо-восточной части Беларуси и их оптимальное использование / В.А. Горкунов; Под науч. ред. Н.И. Смеяна. – Могилев: МГУ им. А.А. Кулешова, 2007. – 256 с.

4. Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур: рекомендации / В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 64 с.

5. Черныш, А.Ф. Типы земель как необходимый элемент обоснования и осуществления территориальной организации агроландшафтов Беларуси /А.Ф. Черныш, Ю.П. Качков, С.С. Бачило // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – №1(52). – С. 9-23.

6. Кауричев, И.С. Структура почвенного покрова и типизация земель: уч. пос. / И.С. Кауричев, Т.А. Романова, Н.П. Сорокина. – М.: МСХА, 1992. – 152 с.

### Typology of radionuclide-contaminated agricultural land

*Tsybulka N.N.*

The typology of agricultural land contaminated with radionuclides is based on the "agroecological type of land", which is an agronomical interpretation of a large variety of soil cover components. The type of land is understood to be a clearly represented land plot commensurate with the unit of economic use, with the same structure of mesorelief, one group of soil-forming rocks, occupied by a single soil mesocombination, whose combined properties, taking into account radioactive contamination, determine the direction of use of the territory, the use of protective and anti-erosion measures.

## **АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЛЕЙКОЗАМИ У НАСЕЛЕНИЯ, ПОСТРАДАВШЕГО ОТ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

***Чешик А.А., Веялкин И.В.***

*Государственное учреждение «Республиканский научно-практический  
центр радиационной медицины и экологии человека»,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

Ранними формами проявления радиационного канцерогенеза являются лейкозы, которые могут начать отмечаться уже через 2-3 года после острого облучения. В тоже время проведенный нами анализ литературных источников показал небольшое количество публикаций, характеризующих тенденции заболеваемости лейкозами в Республике Беларусь в послеаварийный период. Знание особенностей заболеваемости лейкозами в Беларуси важно для реализации решения задач по оценке рисков развития этих заболеваний у пострадавшего населения для определения вклада радиационного фактора в формирование этой патологии. В связи с этим целью данной работы было изучение риска развития лейкозов (С91-С95) у различных категорий населения, пострадавшего от катастрофы на Чернобыльской АЭС за период с 1986 по 2015 гг.

Исходным материалом служили данные Государственного регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (Госрегистр), проживающих в Республике Беларусь и данные Белорусского республиканского канцер-регистра (БРКР) за период с 1986 по 2014 гг.. В данной работе устанавливались особенности заболеваемости как всеми лейкозами (С91-С95), так и основными наиболее распространенными формами: острый лимфобластный лейкоз (С91.0), острый миелобластный лейкоз (С92.0, С93.0, С94.0, С94.2, С94.4-94.5), хронический лимфоцитарный лейкоз (С91.1) и хронический миелоцитарный лейкоз (С92.1, С93.1, С94.1). В работе была использована международная классификация болезней 10 пересмотра. Были рассчитаны, по возрастные (AsR) и стандартизованные по возрасту (ASR, World стандарт) показатели заболеваемости лейкозами (на 100 000 населения). Статистическая обработка материала проводилась согласно стандартным методам, принятым в эпидемиологии злокачественных новообразований: сравнение показателей заболеваемости, проводилось с помощью z-критерия, стандартной ошибки среднего (SE) и сравнения 95% доверительных интервалов (95%ДИ).

Значительный интерес представляет сопоставление заболеваемости лейкозами в Беларуси с аналогичными показателями в странах и регионах ближнего и дальнего зарубежья. Как свидетельствуют данные Международного агентства по изучению рака, в 2012 году частота лейкозов у мужчин в мире оценивалась в 5,6 ‰, в развитых странах – в 8,8%, в развивающихся – в 4,4%.

Среди отдельных стран мира, наиболее высокий уровень заболеваемости у мужчин отмечается в Ирландии (12,5‰), Австралии (11,7‰) и Канаде (11,5‰). Беларусь в этом списке занимает 6 место (10,8‰).

По данным GLOBOCAN частота лейкозов у женщин в мире в 2012 году составила 3,9‰, в развитых странах – 5,8‰, в развивающихся – 3,2‰. Среди отдельных стран мира, приведенных в таблице 5, наиболее высокий уровень заболеваемости у женщин отмечается в Канаде, Литве (7,6‰) и Новой Зеландии (7,3‰). Беларусь в этом списке занимает 7 место (6,8‰).

В Республике Беларусь система сбора и обработки информации о численности, территориальном распределении населения, подвергшегося воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС, результатах диспансерных осмотров, заболеваемости, причинах смерти, миграции, а также о дозовых нагрузках была организована в рамках Белорусского регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС.

В настоящее время в базе данных Государственного регистра накоплена и постоянно актуализируется информация в разрезе 7 групп первичного учета (ГПУ). Особый интерес по изучению медицинских последствий аварии на ЧАЭС представляет анализ в ГПУ 1-4 (Таблица 1):

1-я ГПУ — участники ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС;

2-я ГПУ — граждане, эвакуированные, отселенные, самостоятельно выехавшие с территории радиоактивного загрязнения из зоны эвакуации (отчуждения) в 1986 г.;

3-я ГПУ — граждане, постоянно (преимущественно) проживающие на территории радиоактивного загрязнения в зонах первоочередного и последующего отселения (включая детей, находившихся во внутриутробном состоянии), а также отселенные и самостоятельно выехавшие из этих зон, за исключением прибывших на данную территорию после 1 января 1990 г.;

4-я ГПУ — дети (в последующем подростки и взрослые), родившиеся от граждан 1–3-й ГПУ, за исключением включенных в 3 ГПУ;

Таблица 1 – Численность пострадавшего населения в разрезе групп первичного учета (1-5ГПУ), сведения о котором содержатся в базах данных Госрегистра

Группа учета	Общее количество	Стоящие на учете в Госрегистре на 01.01.2015	Доля стоящих на учете от общего количества
1ГПУ	99 693	55 425	55,6%
2ГПУ	13 101	4 310	32,9%
3ГПУ	139 470	56 593	40,6%
4ГПУ	28 487	19 963	70,1%
Всего	280 751	136 291	48,55%

Наибольшее количество лиц, стоящих на учете, относятся к 1, 3 ГПУ. Количество лиц, стоящих на учете не является постоянной величиной и изменяется с течением времени в силу ряда причин (снятие с учета, смерти, миграции и т.д.). Наибольшая доля выбывших из-под наблюдения лиц отмечается среди эвакуированного населения 67,1%. В группе ликвидаторов последствий катастрофы на ЧАЭС убыль стоящих под наблюдением лиц составила 54,4%.

Среднегодовая численность пострадавшего населения имеет устойчивую тенденцию к снижению по всем группам первичного учёта, кроме 4 ГПУ, что обусловлено естественной убылью населения, характерной для всей Республики и в незначительной степени – миграцией.

Кроме изменения численности лиц, находящихся под наблюдением в Госрегистре, отмечается их естественное постарение. В период с 1986 по 1993 гг. отмечается некоторое снижение медианы возраста в 1-3ГПУ, что может быть связано с регистрацией новых лиц и формированием регистра, после чего происходит постепенное увеличение медианы возраста. Наиболее выраженное постарение наблюдается в когорте ликвидаторов с 41,0 [30,0;50,0] года в 1986 г. до 59,0 [54,0;66,0] лет в 2014 г. В группе эвакуированного населения произошло снижение медианы возраста с 54,0 [16,0;65,0] лет в 1986 г. до 39,0 [17,0;68,0] лет в 1993 г. и последующим ростом до 43,0 [34,0;55,0] лет в 2014г. У лиц из 3ГПУ, наблюдалась похожая картина: снижение медианы возраста с 55,0 [36,0;64,0] лет в 1986 г. до 37,0 [19,0;61,0] лет в 1993 г. и последующим ростом до 42,0 [30,0;56,0] лет в 2014 г. В ГПУ 4 происходило естественное постепенное увеличение медианы возраста с 0,0 лет в 1986 г. до 17,0 [9,0;23,0] лет в 2014 г.

Анализ стандартизованных показателей заболеваемости (ASR) по областям не выявил выраженных отклонений в заболеваемости лейкозами в областях, наиболее загрязненных радионуклидами. В 2010-2014 гг. показатели заболеваемости (оба пола, все жители) равнялись: в Брестской области  $ASR=6,0\pm 1,64$ ; в Витебской области  $ASR=8,1\pm 2,0$ ; в Гомельской области  $ASR=7,4\pm 1,65$ ; в Гродненской области  $ASR=9,6\pm 2,19$ ; в Минской области  $ASR=7,3\pm 1,65$ ; в г. Минске  $ASR=7,5\pm 1,32$  и в Могилевской области  $ASR=8,4\pm 2,2$ ; в целом по РБ  $ASR=7,7\pm 0,25$ . Статистически значимые темпы прироста отмечались только в Гродненской ( $APC= 1,4 (0,77-2,02)$ ) и Могилевской областях ( $APC=0,9 (0,08-1,64)$ ), в остальных регионах прирост показателей заболеваемости отсутствовал.

За период наблюдения показатели заболеваемости лейкозами были выше у мужчин, чем у женщин, статистически значимо в возрастных группах 15-24 года ( $p<0,05$ ) и старше 40 лет ( $p<0,05$ ). При этом следует отметить, что в первые 5 лет жизни риск заболеть лейкозом значимо выше ( $p<0,05$ ), чем в последующие годы жизни до возраста 45 лет. После 45 лет риск заболеть лейкозом резко увеличивается с возрастом, достигая максимума в возрастной группе 75-79 лет у мужчин ( $60,3\pm 3,6\text{‰}$ ) и у женщин ( $30,9\pm 1,65\text{‰}$ ). После 80 лет заболеваемость лейкозами начинает снижаться.

В структуре заболеваемости лейкозами у всего населения на первых местах находятся хронические лимфоцитарный (41%) и миелоцитарный (16,8%) лейкозы. У детского населения (0-14 лет) наоборот на первом месте находится острый лимфобластный (76,7%) и миелобластный (12,0%) лейкозы. Хронические лейкозы у детей практически не встречаются.

Следует отметить, что в Республике Беларусь удельный вес данных локализаций за исследуемый период соответствует таковому среди пострадавшего населения.

Если проанализировать динамику стандартизованных по возрасту соотношений заболеваемости лейкозами в различных группах пострадавшего населения, то более высокий показатель заболеваемости лейкозами, по сравнению с популяционным уровнем, начал отмечаться уже в период 1986-1989 гг. в ГПУ. В последующие годы риск заболеваемости лейкозами в когорте ликвидаторов снижался, продолжая оставаться значимо выше популяционного вплоть до настоящего времени (в 2010-2014 гг. (SIR=1,36 (1,10–2,29))). При этом основной вклад в риск развития лейкозов у ликвидаторов в течение всего анализируемого периода внесли хронические миелоцитарные и лимфоцитарные лейкозы. У населения 2 и 3 ГПУ за последние 30 лет риск заболеваемости лейкозами не отличался от популяционного уровня. В то же время обращает на себя внимание статистически значимое превышение риска заболеть лейкозами у лиц, отнесенных к 4 ГПУ в 1995-1999 гг. (SIR=3,3 (1,34–6,87) и 2005-2009 гг. (SIR=3,2 (1,48–6,13))).

Показатель относительного риска острого лимфобластного лейкоза (ОЛЛ) в ГПУ 1 за весь анализируемый период отмечались не значительные изменения показателей относительного риска за весь период наблюдения 1986-2014 гг. 1,7 (1,15-2,53), показывая максимальное значение SIR в 2005-2009 гг. составившее 3,0 (1,55-5,24) и были они значимо выше популяционного уровня. В ГПУ 2 и 3 относительный риск заболеваемости за весь период наблюдения был ниже, чем в среднем по республике (SIR= 0,5 (0,01-2,69)) и (SIR= 0,8 (0,45-1,2)) соответственно. В ГПУ 4 относительный риск заболеваемости за весь период наблюдения составлял (SIR= 2,5 (1,57-3,88)), показывая максимальные значения в 2005-2009 гг. составившее 4,0 (1,62-8,31) и в 1995-1999 гг. 3,6 (1,32-7,82) и были значимо выше популяционного уровня.

Показатель относительного риска острого миелобластного лейкоза (ОМЛ) в ГПУ 1 статистически значимо SIR не превышал единицу ни в одном году анализируемого периода. Показатель относительного риска за весь период наблюдения составлял (SIR= 1,1 (0,77-1,42)), показывая максимальное значение в 2010-2014 гг. 1,5 (0,86-2,46). В ГПУ 2 статистически значимо SIR не превышал единицу ни в одном году анализируемого периода. Показатель относительного риска за весь период наблюдения составлял (SIR= 0,4 (0,01-2,02)), что ниже чем в среднем по республике, показывая максимальное значение в 2000-2004 гг. 1,6 (0,04-

9,14). В ГПУ 3 статистически значимо SIR так же не превышал единицу ни в одном году анализируемого периода. Показатель относительного риска за весь период наблюдения составлял ( $SIR= 0,9$  (0,63-1,36)), что ниже среднем по республике, показывая максимальное значение в 1986-1989 гг. 1,9 (0,05-10,75). В ГПУ 4 относительный риск заболеваемости за весь период наблюдения составлял ( $SIR= 3,1$  (1,13-6,68)), показывая максимальные значения в 2004-2005 гг. составившее 5,8 (1,19-16,91) и были значимо выше популяционного уровня.

При анализе относительного риска хронического лимфоцитарного лейкоза (ХЛЛ) в ГПУ 1 в период 1986-1989 гг. отмечался рост показателей ( $SIR= 8,0$  (2,59-18,59)), с последующим спадом и не значительными изменениями показателей за весь анализируемый период наблюдения 1986-2014 гг. ( $SIR= 1,4$  (1,24-1,67)), показывая максимальное значение SIR в 1990-1994 гг. 1,9 (1,13-3,09) и в 2000-2004 гг. составившее 1,6 (1,11-2,11) и были все значимо выше популяционного уровня. В ГПУ 2 относительный риск заболеваемости за весь период наблюдения был выше, чем в среднем по республике ( $SIR= 1,5$  (0,76-2,59)) показывая максимальное значение SIR в 1986-1989 гг. 4,3 (1,4-10,09) которое значимо выше популяционного уровня. В ГПУ 3 отмечались не значительные изменения показателей относительного риска на протяжении всего периода наблюдения 1986-2014 гг. ( $SIR= 0,9$  (0,74-1,19)), показывая максимальное значение SIR в 1986-1989 гг. 3,2 (1,18-7), что значимо выше популяционного уровня.

Показатель относительного риска хронического миелоцитарного лейкоза (ХМЛ) в ГПУ 1 в период 1986-1989 гг. отмечен ростом показателей ( $SIR= 9,7$  (1,17-34,9)), с последующим спадом и не значительными изменениями показателей за весь анализируемый период наблюдения 1986-2014 гг. ( $SIR= 2$  (1,6-2,39)), показывая максимальное значение SIR в 1990-1994 гг. 3,4 (1,93-5,48), 1995-1999 гг. 2,7 (1,73-4,09) и в 2005-2009 гг. составившее 1,8 (1,16-2,68) и были все они значимо выше популяционного уровня. В ГПУ 2 статистически значимо SIR не превышал единицу ни в одном году анализируемого периода. За период 1986-1989 гг. отмечался рост показателей относительного риска ( $SIR= 15,2$  (0,39-84,94)), с последующим спадом и не значительными изменениями показателей за весь анализируемый период наблюдения 1986-2014 гг. ( $SIR= 2,1$  (0,86-4,39)), показывая максимальное значение SIR в 1990-1994 гг. 2,6 (0,31-9,37) и в 1995-1999 гг. 4,0 (0,82-11,63). В ГПУ 3 статистически значимо SIR не превышал единицу ни в одном году анализируемого периода. За период 1986-1989 гг. отмечался незначительный рост показателей относительного риска ( $SIR= 2$  (0,05-11,05)), с последующим спадом и не значительными изменениями показателей за весь анализируемый период наблюдения 1986-2014 гг. ( $SIR= 1,2$  (0,89-1,67)), показывая максимальное значение SIR в 1995-1999 гг. 1,3 (0,6-2,49) и в 2000-2004 гг. 1,5 (0,75-2,68). В ГПУ 4 относительный риск заболеваемости за весь анализируемый период наблюдения составлял ( $SIR=$

3,8 (0,46-13,67)), с максимальным значением в 2010-2014 гг. (SIR= 3,1 (0,08-17,49)) и был значимо выше популяционного уровня.

#### **Заключение.**

Проведенный анализ заболеваемости позволяет сделать вывод об отсутствии роста заболеваемости лейкозами у населения Беларуси в послеаварийный период.

Отмечаются различия в структуре заболеваемости взрослого (преобладают хронические лимфо- и миелоцитарные лейкозы) и детского населения (преобладают острые лимфо- и миелобластные лейкозы)

Проведенный анализ заболеваемости позволяет сделать вывод об отсутствии роста заболеваемости лейкозами у населения Беларуси в послеаварийный период.

Отмечаются различия в структуре заболеваемости взрослого (преобладают хронические лимфо- и миелоцитарные лейкозы) и детского населения (преобладают острые лимфо- и миелобластные лейкозы)

Вызывает беспокойство высокий риск развития острых лейкозов в ГПУ 4. Данный вывод базируется на небольшом количестве случаев, однако эта группа постепенно стареет, что может привести к увеличению заболеваемости в будущем. Поэтому требуется пристальное динамическое наблюдение за этой группой.

### **Leukemia incidence rates in population affected by the Chernobyl accident**

*A.A. Cheshik, I.V. Veyalkin*

The accident at the Chernobyl nuclear power plant was the most huge radiation and ecological catastrophe. In the first years after the accident, the growth of incidence of malignant neoplasms of blood in the affected population have been predicting. But till now there has been no clear conclusion about the contribution of the radiation factor to the incidence of leucosis. The purpose of the study was to study the peculiarities of the formation of the incidence of malignant neoplasms of the blood population affected by the Chernobyl accident related to groups 1-4 of primary account. The analysis was conducted across the primary registration groups (PRG: 1 – liquidators, 2 evacuees, 3 – residents of contaminated areas and 4 – born of people from 1-3 PRG). The data of the State Register of persons exposed to radiation following the Chernobyl catastrophe for the period from 1986 to 2015 were used. It was realized an epidemiological analysis of the incidence of leukemias. The analysis was performed using the standardized incidence ratio (SIR). The excess of incidence of leukemias in the cohort of liquidators of the Chernobyl accident was noted. The excess fraction of leukemias was about 20-40% (SIR = 1,3 (1,2-1,46)). It was shown that the high risk of leukemia was formed due to chronic lymphocytic (SIR = 1,3 (1,14-1,53)) and myelocytic (SIR = 1,7 (1,35-2,03)) leukemias regardless of status of the liquidator. There was also no clear correlation between the risk of hemoblastosis and the density of contamination. Thus, the conducted research allowed to characterize the risks of

development of various forms of hemoblastosis population affected by the Chernobyl accident related and to show trends in the distribution of incidence of certain their forms.

УДК 574.4/5:539.163

## **РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ГОВЯДИНЫ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ, ОТВЕЧАЮЩЕЙ САНИТАРНЫМ ПРАВИЛАМ И НОРМАМ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА**

***Яночкин И.В.***

*Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,  
г. Хойники, Республика Беларусь*

**Введение.** Современный этап развития экономики нашей страны, в условиях жесткой рыночной конкуренции предъявляет все более серьезные требования, как к объемам, производимой мясной продукции, так и к ее качеству. Наибольшим удельным весом (до 50% и выше) от общего количества потребляемого мяса во многих странах обладает говядина. Постоянно увеличивается экспорт белорусской говядины в страны ближнего и дальнего зарубежья, основным ее импортером является Российская Федерация, а так же рынок государств евразийского экономического таможенного союза. Так, в 2014 году, по данным Минсельхозпрода, в Российскую Федерацию было поставлено 120,0 тыс. тонн говядины. Особым требованием, которое влияет на процессы экспорта мяса, является радиологическое качество, регулируемое строгими нормативными требованиями. Одним из учитываемых параметров при производстве говядины, является содержание в ней радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ . Так, в Российской Федерации, которая является партнером и одним из крупнейших потребителей белорусской говядины, как и в других странах евразийского экономического союза, действует жесткий норматив на содержание  $^{137}\text{Cs}$  на уровне 200 Бк/кг [1,2].

Процесс поступления и накопления  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани крупного рогатого скота многофакторный, и зависит не только от плотности загрязнения территории радионуклидом, но и от состояния кормовой базы, а также технологических элементов, связанных с организацией кормопроизводства, кормоприготовлением, системами кормления и содержания крупного рогатого скота при выращивании и откорме. Все эти этапы необходимо учитывать в производственном процессе, т.к. грамотно организованное и налаженное производство непосредственно в субъектах хозяйствования позволит существенно расширить сырьевую базу

мясоперерабатывающих предприятий и тем самым повысить эффективность отрасли в целом [2, 3].

Дифференциация используемой кормовой базы в хозяйствах по степени загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  с целью получения говядины соответствующей нормативным требованиям является основополагающим фактором в их деятельности. Предельно допустимое содержание  $^{137}\text{Cs}$  в рационе должно быть дифференцировано в зависимости от возраста забиваемых на мясо животных [4].

При налаженном радиологическом контроле и дифференцированном использовании кормов с различной степенью радиоактивного загрязнения, в хозяйствах расположенных на территории радиоактивного загрязнения, позволит более рационально использовать корма, значительно удешевит производство говядины и получить качественную, высококонкурентную продукцию [5,6].

**Цель исследований** – определение оптимальных технологических параметров производства говядины в зависимости от состояния кормовой базы и разработка мероприятий, способствующих получению говядины с содержанием  $^{137}\text{Cs}$  не превышающем нормативные требования технического регламента таможенного союза (200 Бк/кг), на загрязненных радионуклидами территориях.

**Материал и методика исследований.** При проведении исследований, в лабораторных условиях был проведен гамма-спектрометрический анализ проб мышечной ткани КРС. В натуральных исследованиях была проведена прижизненная дозиметрия животных. Полученные данные статистически обработаны на персональном компьютере при помощи стандартного программного обеспечения (Excel 7.0).

**Результаты исследований и их осуждение.** Проведенные нами исследования позволили определить объемы производимой говядины с содержанием  $^{137}\text{Cs}$  в мясе на уровне менее 200 Бк/кг с целью формирования потенциальных сырьевых зон, где возможно получение нормативно-чистого мяса на экспорт. Было установлено, что из всех областей Республики Беларусь наиболее критическая ситуация сложилась в Гомельской области. При производстве говядины сельскохозяйственными организациями в регионе за период с 2012 г. по 1-3 квартал 2014 г. наиболее критическая ситуация в отношении  $^{137}\text{Cs}$  отмечена в Наровлянском, Ельском, Добрушском, Хойникском и Брагинском районах.

Содержание радионуклидов в рационе КРС зависит от концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в кормах, входящих в состав данного рациона. Поэтому каждая партия любого вида заготавливаемого корма должна быть подвергнута радиационному контролю на содержание  $^{137}\text{Cs}$ . Исходя из полученных результатов, формируются рационы кормления для каждой группы животных.

Исследованиями, проведенными РНИУП «Институт радиологии» установлено, что дифференциация предельно допустимого содержания  $^{137}\text{Cs}$

в рационах проводится в зависимости от возраста убиваемых на мясо животных. Так, если при получении говядины с содержанием  $^{137}\text{Cs}$  до 200 Бк/кг предельно допустимое содержание  $^{137}\text{Cs}$  в рационе взрослых животных старше трех лет должно составлять не более 4 кБк/сут, в возрасте 1,5 года – не более 3,4 кБк/сут.

В случае наличия в хозяйстве кормов с более высокими уровнями содержания  $^{137}\text{Cs}$  необходимо использовать их на первом этапе по хозяйственной технологии без ограничения, а на заключительном этапе откорма (последние 2 месяца) использовать рационы с более низким содержанием  $^{137}\text{Cs}$ . При этом необходимо осуществлять обязательный дозиметрический контроль.

Для расчёта допустимых уровней содержания  $^{137}\text{Cs}$  в рационах сельскохозяйственных животных необходимо знание допустимых уровней содержания данного радионуклида в продукции животноводства (мясо) и коэффициентов перехода (КП) радионуклидов, определяемых как отношение концентрации радионуклида в продукции (Бк/кг) к суммарному содержанию радионуклида в суточном рационе (Бк/сутки) животного. КП часто выражают в процентах, при этом  $1\% = 0.01$  (Бк/кг)/(Бк/сутки).

Значения коэффициентов перехода могут заметно варьировать в зависимости от различных факторов, однако при расчетах могут быть использованы средние значение коэффициента перехода из рациона в мясо крупного рогатого скота (КРС), которое составляет 4%.

Таким образом, для получения говядины, соответствующей, допустимое содержание  $^{137}\text{Cs}$  в рационе откормочного поголовья КРС должно составлять не более 4000 Бк/сутки.

При составлении рационов животных необходимо учитывать фактическое содержание радионуклидов во всех видах кормов с тем, чтобы общее содержание радионуклидов в рационе не превышало ПДСрац (табл. 1).

Таблица 1 – Пример расчета содержания радионуклидов в рационе взрослого скота на откорме (комбинированный тип кормления)

Наименование кормов	Масса, кг	Содержание $^{137}\text{Cs}$ по данным радиационного контроля, Бк/кг	Всего $^{137}\text{Cs}$ , Бк/сутки
Сено	5	450	2250
Сенаж (из сеяных трав)	6	120	720
Силос кукурузный	12	70	840
Концентраты	3	50	150
<b>ИТОГО:</b>	<b>26</b>		<b>3960</b>

Значения допустимых уровней содержания радионуклидов в кормах рассчитаны для усредненных рационов, что накладывает определенные ограничения, поскольку реальные рационы могут существенно отличаться.

При оценке возможности хозяйств минимизировать содержание радионуклидов в животноводческой продукции в целях повышения ее конкурентоспособности, а также при изменении допустимых уровней содержания радионуклидов в этой продукции рассчитывается суммарная активность рациона. Далее проводится расчет максимальных уровней содержания радионуклида в кормах.

Для расчета вклада каждого вида корма в суммарную активность рациона, проводится расчет максимального уровня (МУ) содержания радионуклидов в основных компонентах рациона.

Основой для расчета МУ содержания радионуклида в кормах являются значения коэффициентов перехода ( $K_n$ ) радионуклидов из почвы в различные виды кормов.

Для расчета используются значения  $K_p$ , приведенные в действующих "Рекомендациях по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012-2016 годы" [7].

Затем по каждому виду корма проводится сравнение полученных результатов МУ со сложившейся в последние годы в хозяйстве удельной активностью заготавливаемых кормов. По результатам сравнения принимаются необходимые управленческие решения.

На территории радиоактивного загрязнения возможны случаи превышения нормативных значений по содержанию радионуклидов в говядине, в связи с вынужденной заготовкой некоторыми хозяйствами кормов с превышением нормативов по содержанию радионуклидов.

В этих случаях необходимо использовать дифференцированный подход к кормлению КРС различных половозрастных групп, при котором на промежуточных технологических этапах (выращивание и доращивание молодняка, кормление нетелей и сухостойных коров) рационы животных могут содержать значительно большее количество  $^{137}\text{Cs}$ . Однако при этом убой животных становится невозможным без обязательной очистки на рационах с низким содержанием радионуклида.

Согласно технического регламента таможенного союза, содержание  $^{137}\text{Cs}$  в говядине не должно превышать 200 Бк/кг. Для гарантированного получения говядины, соответствующей данному условию, рекомендуется проводить очистку животных до получения результатов прижизненной дозиметрической оценки 110-120 Бк/кг.

Согласно проведенным исследованиям за 2-3 месяца откорма (очистки) можно обеспечить получение говядины в соответствии с требованиями технического регламента таможенного союза. В зависимости от начального уровня содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани (500 – 1400 Бк/кг) сроки очистки при кормлении животных на откорме рационом в котором содержание  $^{137}\text{Cs}$  менее 0,7 кБк составляют от 11 до 115 суток. Применение ферроцианидов сокращает сроки очистки скота на откорме до 50% [8].

Предлагаемый дифференцированный подход при использовании кормов с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения требует обязательного дозиметрического контроля животных и наличия достаточного количества кормов с низким содержанием  $^{137}\text{Cs}$  для откормочных рационов.

Дифференцированный подход к нормативам содержания радионуклидов в кормах и рационах различных половозрастных групп животных осуществляется двумя путями:

– нормирование кормов и рационов, позволяющее на любом этапе технологического цикла получать продукцию, соответствующую требуемым нормативам;

– нормирование кормов и рационов, позволяющее дифференцированно использовать корма с высоким уровнем радиоактивного загрязнения на промежуточных технологических этапах (выращивание и дорастивание молодняка КРС, нетелей, в сухостойный период).

При этом общим для обоих путей требованием является получение животноводческой продукции, соответствующей нормативным значениям содержания радионуклидов.

Использование первого пути, имеющего целью получение нормативной продукции на любом технологическом этапе мясомолочного скотоводства, предъявляет более высокие требования к содержанию радионуклидов в кормах. Это вызвано значительно более высоким накоплением радионуклидов в молодом организме по сравнению с взрослыми животными (табл. 2).

Таблица 2 – Допустимое содержание  $^{137}\text{Cs}$  в рационе и пастбищной траве в зависимости от возраста КРС для получения говядины с нормативным содержанием радионуклида 200 Бк/кг

Возраст КРС, месяцев	Допустимое содержание в суточном рационе, Бк/кг	Допустимое содержание в травостое, Бк/кг
до 6	725	35
7-8	1163	50
9	1438	60
10	1725	70
11	2038	80
12	2400	88
13	2763	100
14	3075	105
15	3400	110

В пастбищный период не допускается использование для кормления молодняка и откормочных групп животных зеленой массы с содержанием  $^{137}\text{Cs}$  выше нормативных значений.

Использование зеленой массы с превышением нормативных значений по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  разрешено для непродуктивных групп животных (молодняка КРС) только при обязательном прижизненном дозиметрическом

контроле и последующей постановке животных на чистые откормочные рационы с соблюдением рекомендуемых сроков очистки.

Начальным этапом при производстве говядины является оценка количества заготовленного корма для животных и содержания в каждом виде корма радионуклидов с учетом способов хранения (траншея, скирда, сенажная башня и т.п.). Исходя из результатов этой оценки, формируются рационы кормления для каждой группы животных в отдельности. Перед реализацией продукции обязательно проведение прижизненной дозиметрии содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани животных.

Таким образом, в целях получения конкурентоспособной говядины, среди мероприятий, способствующих снижению концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани крупного рогатого скота, которых должны придерживаться производители выделяются следующие:

- Радиационный контроль производимых кормов;
- Расчет допустимого содержания  $^{137}\text{Cs}$  в рационах кормления;
- Регулирование условий содержания животных и состава рационов.

Дифференцированное использование кормов с различным уровнем радиоактивного загрязнения на разных технологических этапах производственного процесса;

- Введение в рацион специальных добавок, способствующих снижению перехода  $^{137}\text{Cs}$  в говядину и увеличению продуктивности животных;

- При необходимости перепрофилирование отрасли молочного скотоводства на специализированное мясное;

- Технологическая переработка продукции.

**Заключение.** Результаты исследований позволяют утверждать, что в сельскохозяйственных предприятиях на территории радиоактивного загрязнения производство говядины с содержанием  $^{137}\text{Cs}$  не превышающим нормативные требования технического регламента таможенного союза (200 Бк/кг) возможно при условии дифференцированного использования имеющейся кормовой базы и рационов крупного рогатого скота в зависимости от содержания данного радионуклида в кормах и возраста животных.

## Литература

1. Технический регламент таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции» (ТР ТС 034/2013)/ Принят решением Совета Евразийской экономической комиссии №68 от 9 октября 2013 – 35 с.

2. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012-2016 годы // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Мн., 2012. – 121 с.

3. Анненков Б.Н. Радиационные аварии и ликвидация их в агрофере./ Б.Н. Анненков, А.В. Егоров, Р.Г. Ильязов – Казань: Изд-во Фэн» Академии наук РТ, 2004. – 408 с.

4. Сироткин А.Н., Ильязов Р.Г. Радиоэкология сельскохозяйственных животных. – Казань: Фэн, 2000. – 384 с.;

5. Ильязов Р.Г. Радиоэкологические аспекты животноводства (последствия и контрмеры после катастрофы на Чернобыльской АЭС)/ Р.Г. Ильязов, Р.М. Алексахин, Н.А. Корнеев и др. – Гомель: Полеспечать, 1996. – 179 с.

6. Ильязов Р.Г. Экологические и радиобиологические последствия Чернобыльской катастрофы для животноводства и пути их преодоления./ Ильязов Р.Г., Сироткин А.Н., Кругликов Б.П.. – Казань. Изд-во Фэн» Академии наук РТ, 2002. – 330 с.

7. Сироткин А.Н. Радиоэкология сельскохозяйственных животных./ Р.Г. Ильязов, А.Н. Сироткин. – Казань: Изд-во Фэн» Академии наук РТ, 2000. – 384 с.

8. Левахин В.И. Ведение животноводства в условиях радиоактивного загрязнения: монография./ В.И. Левахин, А.А. Царенок, И.И. Драганов. – Palmarium Academic Publishing, Германия, 2014. – 101 с.

## **RADIOECOLOGICAL ASPECTS OF BEEF PRODUCTION IN THE BELARUS AGRICULTURAL ENTERPRISES**

*V. Yanochkin*

The paper considers the issue of establishing the most effective technological parameters of beef production based on different concentrations of  $^{137}\text{Cs}$  radionuclide in animal feeds and the state of feeding resources in general. A set of measures has been developed to insure quality beef production in contaminated areas in full correspondence with the requirements of the CU technical regulations, according to which  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in beef should not exceed 200 Bq/kg.

Производственно-практическое издание

**«Радиоэкологические и радиобиологические  
последствия Чернобыльской катастрофы»**  
(г. Хойники, 11-12 октября 2017 г.)

Материалы Международной  
научно-практической конференции

Ответственный за выпуск  
И.В. Яночкин

Технический редактор В.Л. Борисенко  
Оформление обложки В.Л. Борисенко

Подписано в печать 21.09.2017. Формат 60×90/8. бумага мелованная. Гарнитура Таймс. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. \_\_,\_\_. Уч.-изд л. \_\_,\_\_. Тираж \_\_\_\_. Зак. \_\_.

Издатель \_\_\_\_\_  
ЛИ № \_\_\_\_\_ от \_\_.\_\_.20\_\_ г., продл. до \_\_.\_\_.20\_\_ г.  
ул. ...

Отпечатано в ...,  
Г. Минск, ул. ...