

*А. В. Сосновский*

## **АНАЛИЗ И ОЦЕНКА АКТИВНОСТИ НУКЛИДОВ Cs-137 И Sr-90 В ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ С 1994 ПО 2015 ГОДЫ**

*Научный руководитель: канд. мед. наук, доц. А. Р. Аветисов*

*Кафедра радиационной медицины и экологии*

*Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск*

**Резюме.** Данная работа содержит сравнительную характеристику реальных и расчётных данных по дозовым нагрузкам и радиационным рискам при облучении нуклидами Sr-90 и Cs-137 в Гомельской области Республики Беларусь. Представлены сведения о необходимых настройках программы Resrad Onsite для выполнения компьютерного моделирования.

**Ключевые слова:** стронций, дозы, риски, компьютерное моделирование.

**Resume.** This work contains a comparative description of real and calculated data of dose loads and radiation risks when irradiated with Sr-90 and Cs-137 nuclides in the Gomelskaya oblast the Republic of Belarus. There is information about necessary settings of the Resrad Onsite program for performing computer simulation in this work.

**Keywords:** strontium, doses, risks, computer simulation.

**Актуальность.** Вот уже более полувека человечество тратит силы на усиление безопасности применения мирного атома. Однако, как показывает реальность, абсолютная безопасность сложно достижима. Живыми примерами являются трагедии на Чернобыльской и Фукусимской АЭС. Ещё большей трагедией омрачены страницы истории городов Хиросимы и Нагасаки. Всё это обязывает учёных с осторожностью смотреть в будущее атомного века и предпринимать дальнейшие шаги по снижению рисков облучения населения.

С медицинской точки зрения интересным является вопрос прогнозирования дозовых нагрузок и рисков развития онкологических заболеваний. Адекватность этого прогноза позволяет рационально распределять силы и средства государственного здравоохранения на проведение профилактических мероприятий, направленных на снижение радиационных рисков.

**Цель:** Сравнить реальные и прогнозируемые уровни загрязнения, дозовые нагрузки и риски облучения населения Республики Беларусь за счет нуклидов Cs-137 и Sr-90, дать обоснование величинам и перечню корректируемых параметров, которые являются необходимыми для расчёта дозовых нагрузок и рисков облучения программными средствами.

### **Задачи:**

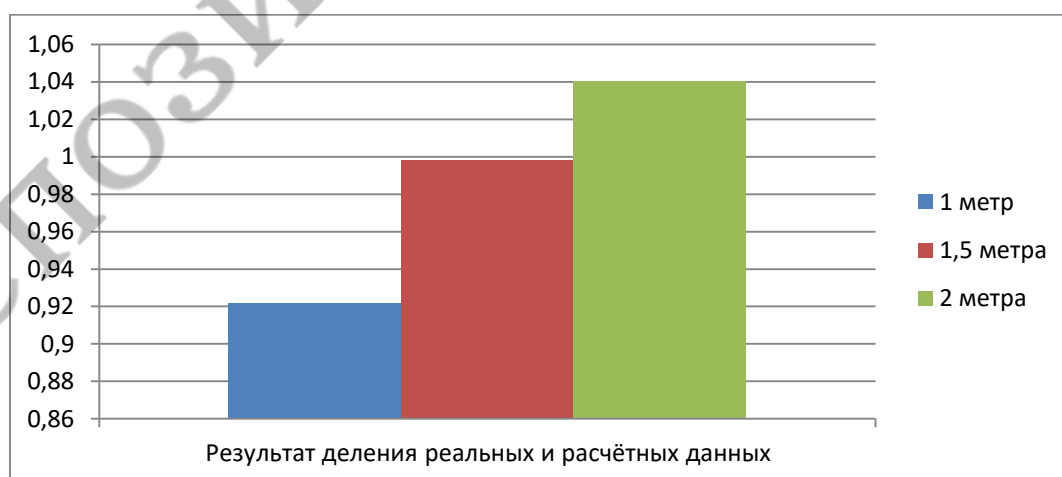
1. Расчёт годовых эффективных доз облучения и радиационных рисков за счет Sr-90 на 2015 год по данным измерений за 1994 и 2014 годы.
2. Сравнение реальных и расчётных данных.
3. Поиск параметров моделирования, влияющих на результаты прогнозирования.
4. Прогноз и оценка дозовых нагрузок и рисков на 2025 год по данным измерений за 1994 и 2015 годы

**Материал и методы.** Данные ГУ «ГИДРОМЕТ» о загрязнении Sr-90 991 населённого пункта Гомельской области за 1994 и 2014 годы. Радиоэкологическое моде-

лирование проведено с помощью программы Resrad-Onsite v.7.2 (США). Статистическая обработка данных проводилась с помощью программного пакета Statsoft Statistica v.10; картирование результатов сделано с помощью программы Golden Software Surfer v.13

**Результаты и их обсуждение.** Для настройки программы Resrad-Onsite были применены следующие параметры: площадь загрязнения населенного пункта 150000 м<sup>2</sup> для деревни и 2000000 м<sup>2</sup> для города; плотность почвы загрязненного слоя – 1,35 г/см<sup>3</sup>; потребление овощей и картофеля – 163 кг/год; потребление молочных продуктов – 260 кг/год; потребление мяса – 91 кг/год [1]; глубина залегания нуклидов – 0,2 м.

Были проведены расчёты дозовых нагрузок для 991 населённого пункта Гомельской области за счет внешнего и внутреннего облучения (в том числе по компонентам: за счет употребления мясной, молочной, растительной продукции) по вышеупомянутым нуклидам. Проведена оценка рисков развития онкологических заболеваний. Было замечено, что прогнозные величины доз и рисков облучения на 2015 год по данным за 1994 год в несколько раз отличаются от данных при расчётах на 2015 год по данным за 2014 год по Sr-90. В связи с этим мы занялись поиском параметров компьютерного моделирования, которые могли столь существенно повлиять на расчёт. И единственным таким параметром оказалась глубина залегания нуклида Sr-90. На основании вышесказанного было принято решение произвести расчёты внешней и внутренней по компонентам доз, а так же рисков развития онкологических заболеваний для различных глубин залегания нуклида. Из литературных источников известно, что Sr-90 может быть обнаружен на глубине как минимум 90 см [2]. Поэтому для моделирования нами были выбраны глубины 1 метр, 1,5 метра и 2 метра. В конечном итоге было произведено более 70000 вычислительных операций. Для выбора наиболее корректного параметра глубины залегания было проведено сравнение реальных данных с расчётными. На рисунке 1 представлено соотношение этих величин в зависимости от выставленного параметра глубины залегания нуклида.



**Рисунок 1** – Отклонения реальных данных от расчётных для различных глубин залегания, введенных в параметры программы Resrad Onsite

Очевидно, что чем ближе результат к 1, тем меньше различий между реальными и расчётными данными. Именно поэтому для дальнейших расчётов по нуклиду Sr-90

была выбрана глубина залегания равная 1,5 метра. Правильность этого выбора подтверждает и статистическая обработка данных, отражённая на рисунках 2 и 3, а так же таблицах 1 и 2.

Variable	Descriptive Statistics (Гомель.sta)									
	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Percentile 10.00000	Percentile 90.00000	Std.Dev.	Confidence SD -95.000%	Confidence SD +95.000%
R94	992	1.293806	0.851000	0.037000	9.731000	0.222000	2.997000	1.319910	1.264276	1.380703
R14	992	0.672742	0.454177	0.032037	5.497978	0.132491	1.501601	0.664840	0.636817	0.695461
R94/14	992	1.893409	1.815191	0.107879	7.863215	1.597009	2.258910	0.529521	0.507202	0.553910
C94-15	992	0.657384	0.432394	0.018800	4.944327	0.112798	1.522777	0.670647	0.642380	0.701536
C14-15	992	0.648357	0.437714	0.030876	5.298695	0.127689	1.447173	0.640742	0.613735	0.670253
C15(94/14)	992	0.998225	0.956987	0.056875	4.145567	0.841960	1.190920	0.279169	0.267402	0.292027
Sum94-15	992	0.032914	0.021649	0.000941	0.247551	0.005648	0.076242	0.033578	0.032162	0.035124
Sum14-15	992	0.032462	0.021915	0.001546	0.265294	0.006393	0.072457	0.032080	0.030728	0.033558
15(94_14)	992	0.032914	0.021649	0.000941	0.247551	0.005648	0.076242	0.033578	0.032162	0.035124

**Рисунок 2** – Результаты применения описательной статистики к полученным данным: R94- загрязнение территории по состоянию на 1994 год; R14- загрязнение территории по состоянию на конец 2014 года; R94/14- кратность уменьшения загрязнения в течение 20 лет

**Таблица 1.** Оценка нормальности распределения полученных данных

Показатель	N	Дэксн	Дкрит	p
Real_1994	991	0.176	0.052	<0.01
Real_2014	991	0.171	0.052	<0.01
R94/R14	991	0.23	0.052	<0.01
C94-15	991	0.176	0.052	<0.01
C14-15	991	0.171	0.052	<0.01
C94/15	991	0.23	0.052	<0.01

Как видно из рисунка 2 и таблицы 1 – распределение данных не подчиняется законам нормального, что является весьма логичным, т.к. загрязнение территории Sr-90 носит пятнистый характер.

Variable	Mean 1	Mean 2	t-value	df	p
15(94&14)	0,032444	0,032944	-0,338602	1980	0,734945

**Рисунок 3** – Результаты Т-теста (попарное сравнение)

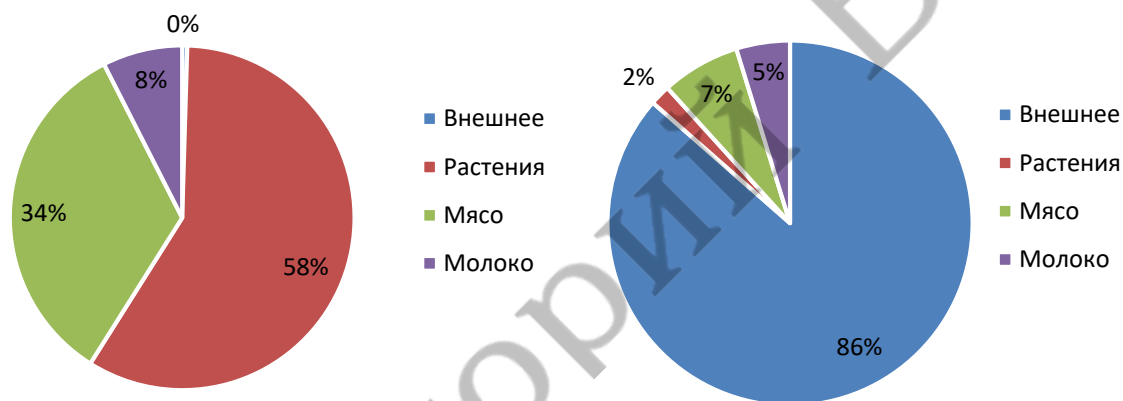
**Таблица 2.** Результаты сравнения результатов по критерию Спирмена

Spearman Rank Order Correlations p <0,01

	N	R	T	p
Sum94-15 & 14-15	991	0,966213	117,8903	<0.01

Из рисунка 3 видно, что при применении параметра глубины залегания 1,5 метра к вычислениям, реальные и расчётные данные не имеют статистически значимых различий. А из таблицы 4 ясно, что значения между собой имеют высокую, близкую к функциональной, корреляционную связь с вероятностью безошибочного прогноза 99%.

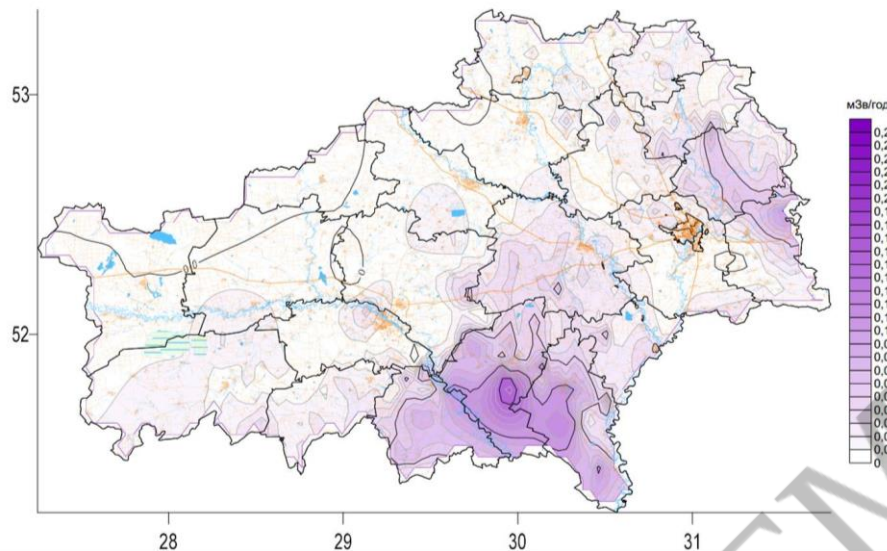
После проведённых вычислительных операций стал ясен ещё один интересный факт (рисунок 4).



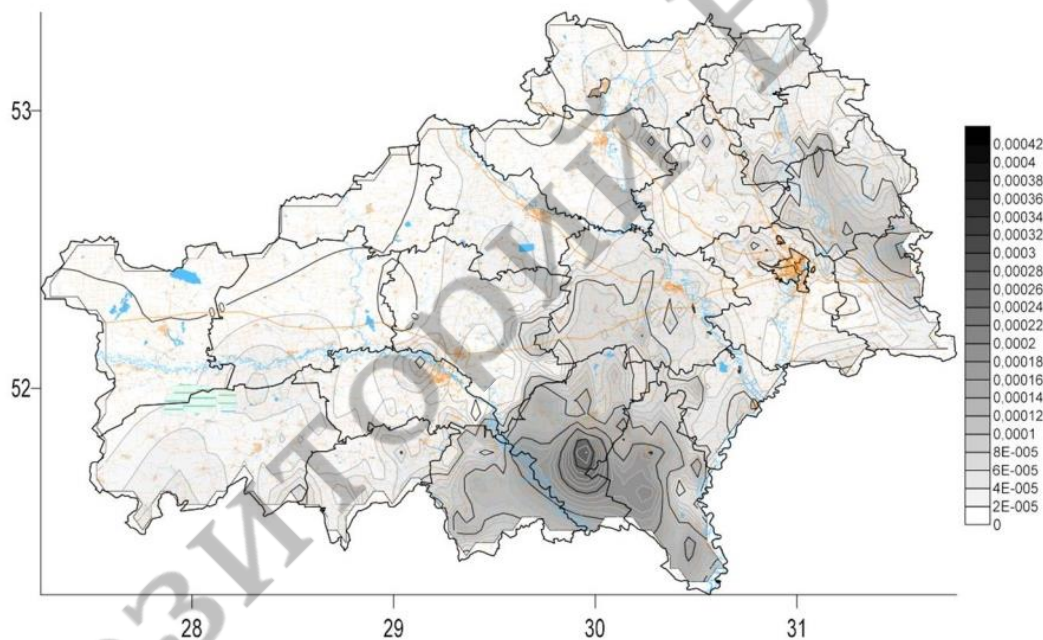
**Рисунок 4** – Структура дозовой нагрузки по Sr-90 (слева) и Cs-137 (справа) по 4-м компонентам: внешнее облучение и внутреннее облучение (растительная пища, мясная продукция, молочная продукция)

Если у Cs-137 основной вклад в дозовую нагрузку вносит доза от внешнего облучения (86%) [3], то у Sr-90 процент дозовой нагрузки от внешней дозы практически не зависит. В тоже время структура внутренней поглощенной дозы двух нуклидов диаметрально противоположная. У Cs-137 главным компонентом является мясо (7%), затем молоко (5%) и, наконец, растения (2%), а у Sr-90 основной фактор внешней дозы – это растения (58%), после – мясо (34%), а наименее значимым – молоко (8%).

Последним этапом работы было картирование полученных результатов. На рисунках 5 и 6 можно увидеть прогнозные данные на 2025 год по Гомельской области.



**Рисунок 5** – Прогноз суммарной годовой эффективной дозы облучения на 2025 год за счёт Sr-90 для жителей Гомельской области по данным загрязнения территории на 01.01.2015



**Рисунок 6** – Прогноз пожизненных онкологических рисков облучения на 2025 год за счёт Sr-90 для жителей Гомельской области по данным загрязнения территории на 01.01.2015

**Выводы:**

1. Для корректного моделирования радиоэкологической ситуации необходимо учитывать большую, чем в пахотном слое, глубину залегания Sr-90.
2. Результаты моделирования загрязнения территории, дозовых нагрузок и рисков облучения достоверно и значимо сопоставимы с реальными измерениями.
3. Дозовые нагрузки и риски облучения Sr-90 более, чем на 99% процентов определяется внутренним облучением.

*A. V. Sosnovskiy*

**ANALYSIS AND EVALUATION OF ACTIVITY OF NUCLIDES Cs-137  
AND Sr-90 IN GOMELKSOYA OBLAST REPUBLIC OF BELARUS FROM 1994  
TO 2015**

*Tutor: assistant professor A. R. Avetisov  
Department of Radiation medicine and ecology  
Belarusian State Medical University, Minsk*

**Литература**

1. Ильина, З. М. Таможенный союз: безопасность в сфере продовольствия (методические и практические аспекты) / З. М. Ильина, С. Б. Бубен, Г. А. Баран // Аграрная экономика. – 2013. – №10. – С. 2–18.
2. Лукин, С. В. Результаты радиоэкологического мониторинга агроэкосистем Белгородской области / С. В. Лукин, Р. М. Хижняк // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. – 2012. – №21(140). – С. 154-159.
3. Анализ формирования годовой эффективной дозы облучения за счет выпадений техногенных радионуклидов на территории Островецкого района Гродненской области. / А. Н. Стожаров, М. Г. Герменчук, А. Р. Аветисов и др. // Медицинский журнал. – 2016. – №1. – С. 140-143.