

*А. Н. Стожаров*

**РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
НОРМИРОВАННЫХ ВЫБРОСОВ  
В АТМОСФЕРУ АТОМНЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ  
С ВОДО-ВОДЯНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕАКТОРАМИ**

*УО «Белорусский государственный медицинский университет»*

---

*На основе методологии, разработанной Научным комитетом ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН), произведен расчет ожидаемых доз на население, проживающее*

## □ Оригинальные научные публикации

в зоне наблюдения АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами, работающих в штатном режиме. Расчет касался выбросов в атмосферу радиоактивных благородных газов, йода, кобальта и изотопов цезия. Суммарная доза за время срока службы станции (100 лет) составит около 0,061 мкЗв. Главной составной частью будет внешнее облучение от иммерсированных в воздухе радионуклидов, представленных инертными газами (ксенон-135 и ксенон-133). Превалирующее значение в формировании дозы внутреннего облучения будет принадлежать кобальту-60. Интегрированные значения ожидаемых доз и особенно значение ожидаемой суммарной дозы облучения населения даже в 5-км зоны наблюдения являются крайне малыми, значительно меньше установленной нормативными документами для АЭС дозы в 100 мкЗв, что может исключить проведения специализированных защитных мер.

**Ключевые слова:** АЭС, радиоактивные выбросы, дозы облучения населения.

**A. N. Stojarov**

### **RADIATION-HYGIENIC ASSESSMENT OF THE NORMALIZED RADIONUCLIDE EMISSIONS TO ATMOSPHERE OF NUCLEAR POWER PLANTS WITH PRESSURE WATER REACTORS**

*The author has estimated the expected effective dose to population, residing in the neighborhood of the area of nuclear power plant (NPP), equipped with the reactor of pressurized water type (PWR). The assessments were based on the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) calculation methodology and the assumption of the reactor operation regular mode. Calculations covered data on noble gases, iodine, cobalt and cesium. According to our findings, total effective dose for 100 years operated period of NPP is to be about 0,061 uSv. The essential proportion of the total dose in the air is to be generated by the inert gases (xenon-135 and xenon-135). The bulk of internal dose is to be formed by Co-60. The integrated values of the expected total doses, public doses within 5-km zone specifically, are estimated as extremely low. These doses are expected to be much lower compared to those established by the regulations (100 uSv per year). The outcomes of the calculations give grounds to assert on the absence of necessity to develop any special protective measures within all period of NPP operation.*

**Key words:** nuclear power plant, NPP, pressurized water reactor, PWR, radioactive discharges, human exposures.

Работа любой атомной электростанции обязательно сопряжена с выбросами в окружающую среду определенного количества радиоактивных элементов. Количественный состав газо-аэрозольных выбросов зависит от типа реактора, который составляет основу станции. Согласно международным требованиям, а также законодательству нашей страны количество, т. е. активность выбросов нормируется с целью предотвращения облучения населения.

В Беларуси активно ведется строительство атомной электростанции, первая очередь которой должна вступить в строй в 2019 году в Гродненской области неподалеку от районного центра Островец. Станция будет оснащена двумя водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР-1200), общей мощностью 2400 МВт.

В связи с вышеизложенным представляется важным оценить радиационно-гигиенические последствия функционирования в штатном режи-

ме подобного рода реакторов в плане воздействия на окружающую среду, различных способов формирования доз облучения населения и вклада в них различных радионуклидов.

#### **Материалы и методы**

В основу расчетов была положена модифицированная методология, разработанная Научным комитетом Организации Объединенных наций по действию атомной радиации (НКДАР ООН) для оценки радиоактивных выбросов в окружающую среду [1]. Данная методология в своем окончательном, переработанном виде была утверждена на 63-й сессии НКДАР ООН в 2016 году [2]. В качестве опорной точки для расчетов был взят гипотетический населенный пункт, расположенный в зоне наблюдения (ЗН) в 5 км от АЭС. Выбор подобного расстояния от станции был связан с тем фактом, что на таком удалении не могут быть расположены крупные населенные пункты

и города и, следовательно, население будет использовать, в основном местные продукты питания, которые будут обуславливать формирование дозы внутреннего облучения.

Значения нормированных выбросов АЭС в атмосферу с реакторами типа ВВЭР приведены в таблице 1 [3].

Таблица 1. Годовые допустимые выбросы радионуклидов в атмосферу

Радионуклид	Допустимый выброс
Инертные радиоактивные газы	690 ТБк
I-131	18 ГБк
Co-60	7,4 ГБк
Cs-137	2 ГБк
Cs-134	0,9 ГБк

Радиоактивные инертные газы представлены смесью аргона, криптона и ксенона (таблица 2) [4].

Таблица 2. Состав радиоактивных благородных газов в газообразных выбросах реакторов ВВЭР

Радионуклид	% содержания
Ar-41	0,2
Kr-85	11
Xe-133	72
Xe-135	13

Для расчета доз внутреннего облучения, согласно данным Государственного статистического комитета, использовались следующие значения потребления продуктов питания (таблица 3).

Таблица 3. Потребление продуктов питания, кг/год

Зерно и зернопродукты	Овощи	Молоко и молокопродукты	Мясо
85	146	289	75

В расчет включены следующие пути воздействия радиоактивных выбросов на организм человека: внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления радионуклидов, внешнее облучение за счет иммерсии радионуклидов в воздухе, внешнее облучение за счет загрязнения местности, внутреннее облучение за счет потребления продуктов питания.

В основу радиоактивных выбросов в данной методологии положена Гауссова модель их распределение в атмосфере, при высоте трубы 100 м и скорости ветра 2 м/с. Для расчета доз внут-

реннего облучения применена радиологическая модель с применением известных коэффициентов перехода в системе почва–растения–животные–человек [5, 6]. Временным интеграционным фактором в расчетах является 100-летний период. Этот промежуток времени сопоставим с продолжительностью жизни человека и равен сроку службы атомной станции вплоть для ее демонтажа.

### Результаты и обсуждение

Рассчитанная суммарная общая активность воздуха на расстоянии 5 км от АЭС составила 1,7 Бк/куб. м. Наибольший вклад внесут радиоактивные инертные газы ксенон-133, 135 и криптон 85 (70,1 %, 12 и 10,6 %, соответственно). На долю остальных радиоактивных элементов, в том числе I-131 и Cs-137, приходится около 7 % (рис. 1).

Подобный состав будет определять радиоактивное загрязнение местности, в котором благородные газы принимать участия не будут, и выпадения на почву будут обусловлены радиоактивным йодом, кобальтом и двумя изотопами цезия (Cs-137 и Cs-134) (рис. 2).

Как видно, загрязнение почвы будет определяться, в основном, радиоактивными йодом

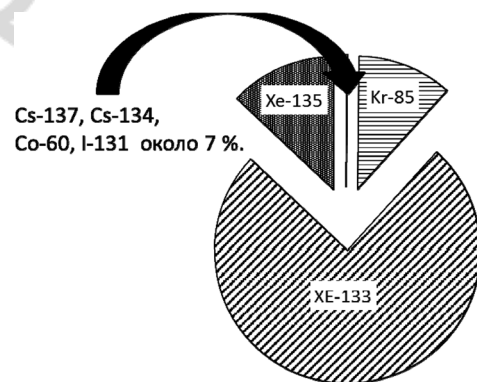


Рис. 1. Вклад радионуклидов в суммарную активность атмосферного воздуха на расстоянии 5 км от АЭС

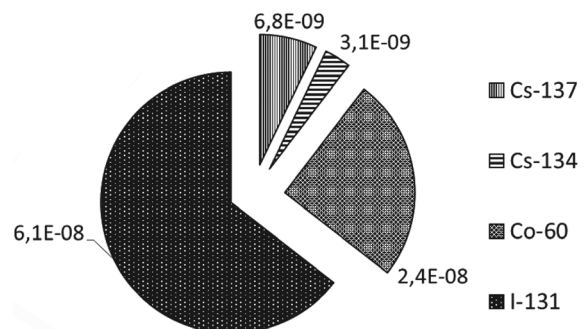


Рис. 2. Скорость выпадения радионуклидов на почву на расстоянии 5 км от АЭС (Бк/кв. м \*сек)

## Оригинальные научные публикации

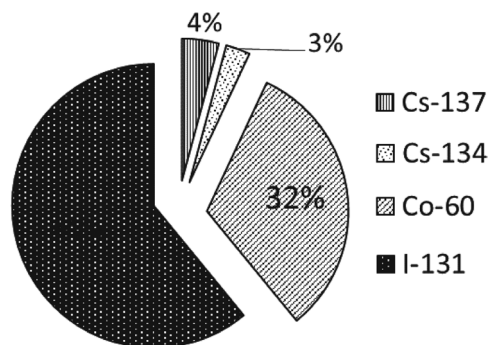


Рис. 3. Вклад радионуклидов выбросов в формирование внутренней дозы за счет ингаляционного поступления

и кобальтом и в год составит чуть меньше 2 Бк на квадратный метр.

За счет ингаляционного поступления радионуклидов за время интеграции доза на расстоянии 5 км от АЭС составит 0,0027 мкЗв и будет на 61 % формироваться за счет I-131, на 32 % за счет радиоактивного кобальта и только на 7 % за счет двух радионуклидов цезия (рис. 3). Радиоактивные инертные газы в формировании ингаляционной дозы в силу их свойств принимать участия не будут.

В формировании дозы внешнего облучения (0,043 мкЗв) за счет иммерсии радионуклидов в воздухе за период интеграции будут вносить основной вклад Xe-135 (57 %) и Xe-133 (39 %). На долю остальных элементов придется около 4 % этой дозы.

Основной вклад в формирование дозы внешнего облучения за счет загрязненной территории в 5-км зоне будет вносить Co-60 (96 %) и только 4 процента придется на другие радионуклиды (рис. 4).

В суммарную дозу внутреннего облучения за счет потребления продуктов питания (0,01 мкЗв) за интеграционный период наибольший вклад даст потребление молока и молочных продуктов, меньше потребление мяса, овощей и хлеба с зерновых продуктов (рис. 5).

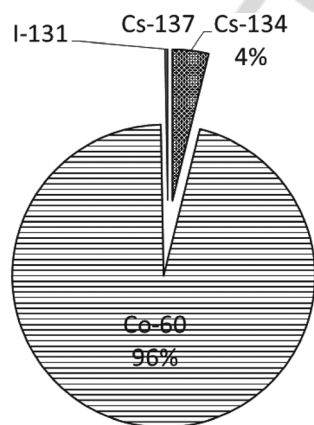


Рис. 4. Вклад радионуклидов выбросов в формирование дозы внешнего облучения за счет загрязнения территории 5-км зоны

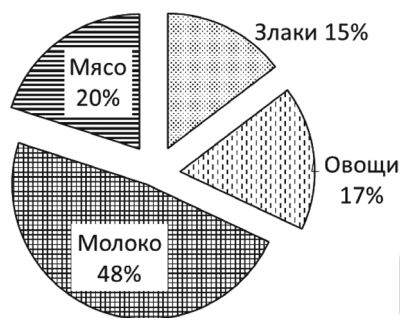


Рис. 5. Вклад пищевого рациона в формирование дозы внутреннего облучения в 5-км зоне АЭС

Проведенный анализ показал, что значительный вклад в дозу внутреннего облучения будет вносить радиоактивный кобальт – 34 %, на долю I-131 придется около 10 %. Вклад Cs-137 составит около 6 % (рис. 6).

По результатам расчета доз облучения можно заключить, что критическим способом формирования суммарной ожидаемой дозы (0,061 мкЗв) будет внешнее облучение за счет иммерсии радионуклидов в атмосферном воздухе (рис. 7).

Анализируя полученные данные, становится очевидным, что проведенные нами расчеты в целом согласуются с результатами вычислений, полученными с применением программного пакета PC SEAM-08 [7], за исключением выводов,

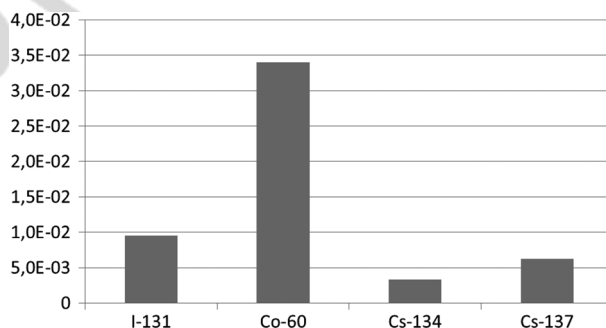


Рис. 6. Вклад в дозу внутреннего облучения населения различных радионуклидов в 5-км зоне (мкЗв)

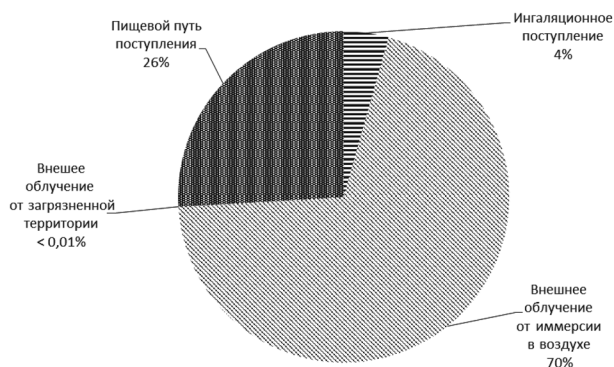


Рис. 7. Структура суммарной эффективной дозы на население в 5-км зоне АЭС

## Оригинальные научные публикации □

касающихся структуры дозы в 5-км зоне. Автором работы был сделан вывод о значительном вкладе в суммарную дозу внутреннего облучения I-131. В нашем исследовании преобладающее значение должно принадлежать Co-60. Однако надо учитывать, что в упомянутой выше работе не учитывался вклад радиоактивного кобальта, который, как было упомянуто выше, является частью штатных выбросов в атмосферу АЭС с реакторами типа ВВЭР и будет иметь более высокую степень концентрации в некоторых продуктах, особенно в молоке и мясе (табл. 4) [2].

**Таблица 4. Активность в продуктах питания, интегрированная на 100 лет при непрерывных выбросах при величине 1 Бк/кв. метр в секунду в течение года [2]**

Радионуклид	Интегрированная активность радионуклидов в продуктах питания (Бк/кг)			
	злаки	овощи/фрукты	молоко	мясо
Co-60	$1,1 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$2,3 \times 10^6$	$1,3 \times 10^7$
Cs-137	$5,9 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$	$3,0 \times 10^5$	$1,5 \times 10^6$
Cs-134	$4,9 \times 10^5$	$1,4 \times 10^5$	$2,5 \times 10^5$	$1,2 \times 10^6$
I-131	$4,2 \times 10^4$	$4,1 \times 10^4$	$4,8 \times 10^4$	$2,4 \times 10^4$

Вторым отличием настоящего исследования от предыдущего являются указания на значительно больший вклад в суммарную дозу облучения иммерсированных в воздухе радионуклидов, который является почти в 2,5 раза большим, чем доза внутреннего облучения от потребления загрязненных продуктов питания. Этот факт можно объяснить значительной активностью в воздухе изотопов ксенона и криптона, вклад которых в работе [7] не учитывался.

Несколько большее значение суммарной дозы, приведенное в упомянутом исследовании, может быть обусловлено включением в расчет радиоактивного углерода и трития, активности

которых в штатных выбросах, согласно СанПиН, не нормируются.

Тем не менее, рассчитанные нами интегрированные значения ожидаемых доз и особенно значение суммарной дозы облучения населения даже в 5-км зоне является крайне малой, значительно меньше установленной для АЭС дозы в 100 мкЗв, что может исключать проведение специализированных защитных мер.

## Литература

1. *UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Sources. UNSCEAR 2000 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000 Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations sales publication E.00.IX.3. United Nations, New York, 2000.*

2. *UNSCEAR. Methodology for estimating human exposures due radioactive discharges. UNSCEAR, 2016 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2016 (in press).*

3. *Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций»: утв. Постановлением Министерства здравоохранения Респ. Беларусь 31.03.2010 № 39. – Минск, 2010.*

4. *Бекман, И. Н. Ядерная индустрия. Курс лекций. МГУ им. М. Ломоносова. – М., 2005. – 867 с.*

5. *Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and freshwater Environments. Technical Reports SeriEs № 472, IAEA, 2010.*

6. *Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment, Safety Reports Series № 19, IAEA, 2001.*

7. *Кляус, В. В. Дозы облучения населения Беларуси при нормальной эксплуатации АЭС с реактором типа ВВЭР // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2010. – № 2(4). – С. 37–41.*

Поступила 8.12.2016 г.