

4. **Методика** обнаружения малых значений объемной активности техногенных радионуклидов с использованием гамма-спектрометра СЕГ-017 (проект). Руководящий документ. НПО «Тайфун». Обнинск, 2010.
5. **Статистические методы.** Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. ГОСТ ИСО 5479—2002. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002.

6. **Королев С.А., Лаврухин Ю.Е., Румянцев О.В.** Метрологическое обеспечение спектрометрического канала АСКРО. — Атомная энергия, 2010, т. 109, вып. 1, с. 29—34.
7. **Радиационная обстановка** на территории России и сопредельных государств в 2007 году. Ежегодник. НПО «Тайфун». Обнинск, 2008. 212 с.

Поступила в Редакцию 27.09.12

УДК 574:539.1.04:614.73

ОЦЕНКА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ РОСТОВСКОЙ АЭС

Шарпан Л.А., Карпенко Е.И., Спиридонов С.И. (ВНИИСХРАЭ РАСХН, г. Обнинск)

Эксплуатация АЭС сопровождается контролем радиационной обстановки на прилегающей к ней территории. На основе измерения содержания долгоживущих радионуклидов в компонентах природной среды и продуктах питания можно оценить дозу внешнего и внутреннего облучения населения. Наряду с такими оценками представляется целесообразным рассчитывать дозу облучения на основе данных, характеризующих радиоактивные сбросы и выбросы АЭС.

Целями настоящей работы являются расчет и сравнение с нормативом дозы облучения населения в результате выбросов Ростовской АЭС.

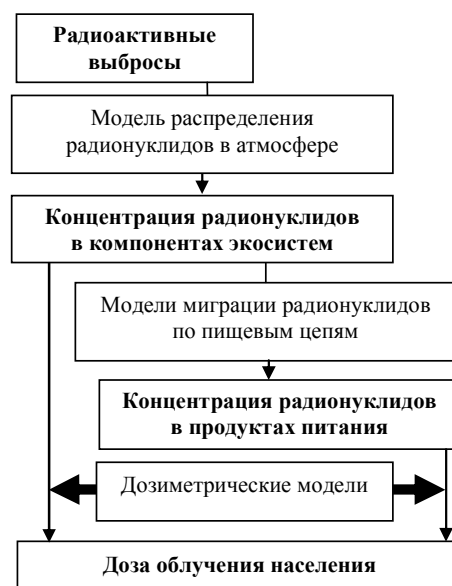
Материалы и методика. При незначительном радиоактивном загрязнении, формируемом штатными радиоактивными выбросами АЭС, рациональным представляется точечный консервативный подход [1]. В рамках этого подхода расчеты проводятся для точки, расположенной в определенном направлении и на определенном расстоянии от источника выброса. Консерватизм оценок заключается в том, что параметры выбираются для условий максимальной концентрации радионуклидов в приземном слое атмосферы. Делается допущение о том, что миграция радионуклидов после осаждения на земную поверхность протекает в этой точке.

В настоящее время разработаны разные методы и модели для оценки последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды. В рамках решения поставленной задачи использовали общие модели расчета влияния выбросов и сбросов предприятий ядерно-промышленного комплекса на население (рис. 1), характеризую-

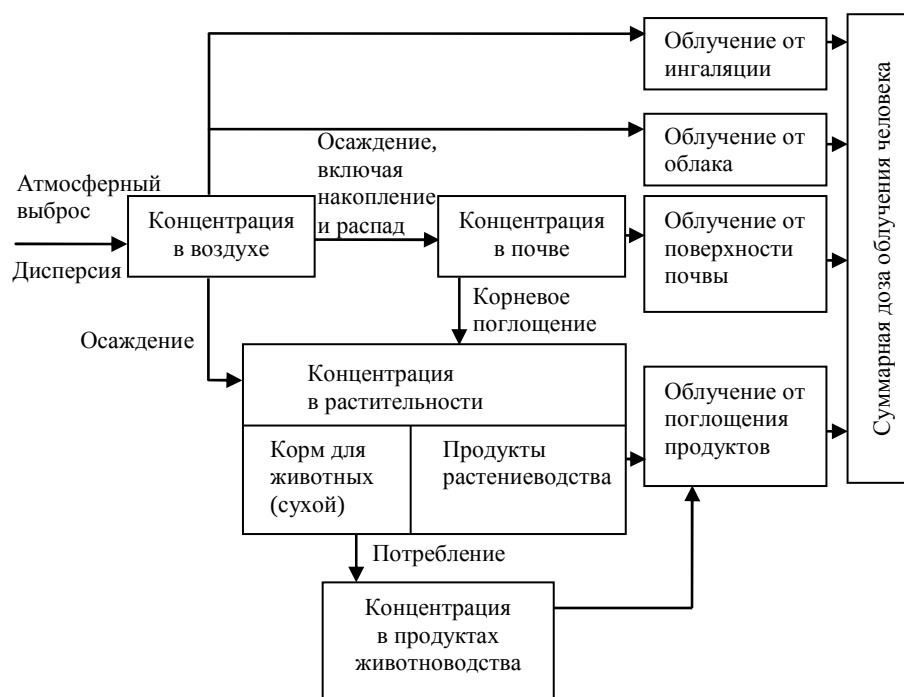
щиеся оптимальным уровнем сложности и хорошо проработанным параметрическим обеспечением [2].

Атмосферный перенос радионуклидов моделировали с помощью модели Гаусса, адекватной для представления дисперсии постоянных или периодических выбросов на расстояние несколько километров от источника. Возможны два типа осаждения радиоактивных аэрозолей на поверхность почвы — сухое и влажное. Под влиянием совокупности процессов и факторов в атмосферном воздухе в зависимости от расстояния до источника будет формироваться разная концентрация радионуклидов.

Миграционные процессы, обуславливающие формирование дозы внутреннего и внешнего облучения населения и описываемые моделями [2], показаны на рис. 2. Доза облучения



Р и с. 1. Схема расчета дозы облучения населения



Р и с. 2. Формирование дозы внутреннего и внешнего облучения человека в результате атмосферных выбросов АЭС

населения рассчитывается с учетом каждого возможного пути поступления радионуклидов в организм человека.

В настоящей работе в качестве исходных данных при оценке дозы облучения населения использованы характеристики выбросов Ростовской АЭС. В режиме нормальной эксплуатации источником поступления радионуклидов в атмосферу являются радиоактивные аэрозоли и газы [3].

Дозу облучения населения рассчитывали с учетом долговременного метеорологического фактора разбавления примеси в атмосфере на расстоянии 2 км, определенного по среднегодо-

вым метеорологическим данным скорости, устойчивости и направления ветра в районе расположения АЭС. Выбранное расстояние и направление ветра обеспечивают необходимый консерватизм расчетов. В частности, рассматривалось восточное направление ветра в связи с наибольшей повторяемостью и ближайшим расположением населенного пункта. Выбор расстояния обусловлен формированием максимальной дозы облучения, таким образом, в расчетах были учтены природно-климатические характеристики региона размещения Ростовской АЭС. В качестве рациона питания населения принято годовое потребление разных продук-

тов [4]. В расчетах использовали параметры миграции радионуклидов по пищевым цепочкам и дозовые коэффициенты [2].

Результаты и обсуждение. Расчеты выполняли в рамках точечного консервативного подхода, согласно которому дозу облучения населения оценивали для участка с наибольшей концентрацией радионуклидов в приземном слое воздуха в непосредственной близости от Ростовской АЭС (табл. 1). Суммарная годовая эффективная доза облучения населения по всем путям облучения составила 0,003 мкЗв, что согласуется с оценками атмосферных выбросов для Нововоронежской, Ленинградской, Бала-

Т а б л и ц а 1. Годовая доза облучения населения, формируемая атмосферными выбросами Ростовской АЭС в 2011 г., мкЗв

Путь облучения	^{60}Co	$^{85\text{m}}\text{Kr}$	^{133}Xe	^{135}Xe	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs	Итого
Ингаляционный путь	$5,4 \cdot 10^{-7}$				$5,3 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Внешнее облучение от поверхности почвы	$2,2 \cdot 10^{-4}$				$5,0 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$
Потребление растительной пищи	$8,7 \cdot 10^{-6}$				$8,5 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Потребление молока	$2,0 \cdot 10^{-7}$				$6,4 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^{-5}$
Потребление мяса	$1,6 \cdot 10^{-7}$				$1,6 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Внешнее облучение от облака	$9,4 \cdot 10^{-9}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-9}$	$6,6 \cdot 10^{-10}$	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Суммарная доза	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$

ковской и Кольской АЭС. Эти параметры варьируют в диапазоне $6,4 \cdot 10^{-4}$ — $0,2$ мкЗв/год [5].

Согласно НРБ-99/2009 допустимая годовая эффективная доза облучения населения составляет 1 мЗв [6]. В связи с введением квот в качестве нижней границы годовой дозы облучения от радиационного фактора при оптимизации радиационной защиты населения в режиме нормальной эксплуатации АЭС принимается минимально значимая доза 10 мкЗв [7]. Расчетами установлено, что суммарная годовая эффективная доза облучения населения от атмосферных выбросов Ростовской АЭС значительно меньше установленной квоты. Поэтому сделан вывод, что для оценки дозы облучения населения при штатной эксплуатации АЭС достаточно консервативного подхода.

Вклад каждого пути облучения в суммарную эффективную дозу следующий: облучение от облака выброса — 76,8%, поверхности почвы — 15,5%, ингаляции — 0,1%, потребления продуктов питания — 7,6%. Основной вклад в среднегодовую эффективную дозу вносит облучение от облака. При этом необходимо отметить, что парциальная доза облучения определяется составом рациона питания населения: мясо — 12%, молоко — 36%, растительная пища — 52%. Кроме того, оценен вклад отдельных радионуклидов в дозу облучения населения по разным путям и суммарную дозовую нагрузку.

Максимальный вклад в суммарную годовую эффективную дозу облучения населения вносит ^{135}Xe . На основании полученных данных можно ранжировать радионуклиды в атмосферных выбросах Ростовской АЭС с точки зрения их радиоз экологической значимости (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Ранжирование радионуклидов по вкладу в суммарную дозу облучения

Радионуклид	Вклад в суммарную эффективную дозу, %	Ранг
^{135}Xe	58,4	1
^{85m}Kr	12,0	2
^{60}Co	8,5	3
^{131}I	8,1	4
^{133}Xe	6,5	5
^{137}Cs	5,2	6
^{134}Cs	1,4	7

Приведенные данные подтвердили соответствие дозы облучения населения, проживающего в районе расположения Ростовской АЭС, допустимому радиационному воздействию за счет атмосферных выбросов АЭС [7]. Расчетным путем были выявлены основной путь облучения в 2011 г. — облучение от облака, а также основной дозообразующий радионуклид — ^{135}Xe . Кроме того, при отдельном рассмотрении путей формирования дозы облучения установлено, что в каждом случае состав основных дозообразующих радионуклидов различен. Это объясняется физико-химическими свойствами и, как следствие, миграционными способностями отдельных радионуклидов.

В рамках сравнительной оценки рассчитан вклад путей облучения и отдельных радионуклидов в суммарную дозу облучения населения в 2007 г. от выбросов одного энергоблока Ростовской АЭС. Как показали расчеты, основной вклад в суммарную дозу вносил пероральный путь облучения (64%). Основным дозообразующим радионуклидом являлся ^{131}I (67%). Различие результатов обусловлено тем, что активность инертных радиоактивных газов, поступивших в атмосферу в 2011 г., примерно в 100 раз превышала активность в составе атмосферных выбросов 2007 г.

Остается открытым вопрос, касающийся оценки вклада в суммарную дозу облучения радионуклидов, которые не представлены в [3]. Важную роль в формировании дозы облучения населения может играть тритий [1]. Другим радиологически значимым радионуклидом является ^{14}C . Учет этих радионуклидов в составе атмосферных выбросов АЭС может повлиять на оценку дозы облучения.

Выводы. При штатном функционировании АЭС для оценки последствий радиоактивных выбросов в атмосферу достаточно точечного консервативного подхода к расчету дозы облучения населения, проживающего в районе расположения АЭС. Наибольший вклад в суммарную дозу облучения населения в районе расположения Ростовской АЭС в 2011 г. вносило облако выброса, наиболее значимым дозообразующим радионуклидом являлся ^{135}Xe . Вклад этого радионуклида в суммарную дозу облучения населения, зависящий от направления ветра и некоторых других показателей, составляет ~60%. По сравнению с 2007 г., когда работал

один блок, пути облучения и основные дозообразующие радионуклиды в 2011 г. изменились. Суммарная доза облучения населения, формируемая атмосферными выбросами Ростовской АЭС, во всех случаях не превышает квоту для радиоактивных выбросов АЭС в атмосферу (10 мкЗв/год).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спиридонов С.И., Карпенко Е.И., Шарпан Л.А. Ранжирование радионуклидов и путей облучения по вкладу в дозовую нагрузку на население, формирующуюся в результате атмосферных выбросов АЭС. — Радиационная биология. Радиоэкология, 2013, т. 53, № 4, с. 401—410.
2. *Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment*. Safety Rep. Ser. № 19. Vienna: IAEA, 2001. 216 p.
3. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2011 г. Ежегодник. Обнинск, НПО «Тайфун», 2012.
4. *Российский статистический ежегодник*. М.: Росстат, 2012.
5. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И. и др. Оценка радиозоологического воздействия объектов использования атомной энергии по данным радиационного мониторинга окружающей среды. — Ядерная и радиационная безопасность России, 2012, вып. 12, с. 139—159.
6. *Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)*. Санитарные правила и нормативы СанПин 2.6.1.2523-09. М.: Минздрав России. 2009. 68 с.
7. *Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03)*. Санитарные правила и гигиенические нормативы СанПин 2.6.1.24-03. М.: Минздрав России, 2003. 41 с.

Поступила в Редакцию 16.05.13

УДК 621.039.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЕРМЫ В БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТКАНИ С ГАДОЛИНИЕМ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЭПИТЕПЛОВЫМ НЕЙТРОННЫМ ПУЧКОМ ВВР-СМ ИЯФ АН РУз

*Абдуллаева Г.А., Коблик Ю.Н., Кулабдуллаев Г.А., Ким А.А., Джураева Г.Т.,
Небесный А.Ф., Сайтджанов Ш.Н. (ИЯФ АН РУз, Ташкент, Узбекистан)*

Нейтронзахватная терапия злокачественных новообразований является перспективным направлением радиационной онкологии. В частности, она актуальна для лечения радиорезистентных опухолей. Среди изотопов, пригодных для ее реализации, первое место занимает ^{10}B . Однако не всегда применение бора оказывается эффективным — есть сложности с его доставкой в опухоль и удержанием достаточного количества для создания терапевтической дозы. Поиск путей преодоления этих сложностей обусловил рассмотрение альтернативных изотопов. Особое внимание было обращено на изотопы гадолиния с большим сечением захвата тепловых нейтронов. В настоящее время проводятся исследования, направленные на изучение возможности применения гадолиния в качестве нейтронзахватного изотопа [1—5].

Исследования показывают, что трудно определить поглощенную энергию, т.е. дозу нейтронзахватной реакции на гадолинии в биологической ткани и других облучаемых объектах. Дозиметрическое обоснование и планирование нейтронзахватной терапии требуют точных сведений об интегральной поглощенной

энергии в реакциях с гадолинием и оптимальных условиях воздействия на опухоль. Точное измерение поглощенной дозы в биологической ткани является сложной экспериментальной задачей. Проблемы дозиметрии нейтронного излучения связаны с тем, что чувствительность почти всех дозиметров сложным образом зависит от энергии нейтронов. Поэтому для оценки поглощенной дозы удобным является определение кермы K — близкого аналога поглощенной дозы, которая при равновесии вторичных заряженных частиц будет равна поглощенной дозе. Преимуществом кермы является возможность ее расчетного определения как для известного потока моноэнергетических нейтронов, так и для спектра нейтронов. Настоящая работа посвящена определению кермы в биологической ткани с гадолинием при облучении пучком эпитепловых нейтронов ВВР-СМ ИЯФ АН.

Измерения и обработка. При взаимодействии эпитеплового пучка нейтронов с элементами биологической ткани выделяется энергия. Образующиеся заряженные частицы и ядра отдачи имеют короткий пробег, и их энергия поглощается в слоях толщиной несколько десятков