

Национальная академия наук Беларуси  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК 621.039.58

ДРОЗДОВИЧ  
Владимир Вячеславович

ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ЩИТОВИДНОЙ  
ЖЕЛЕЗЫ НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ  
ВЫБРОСОВ РАДИОИОДА НА АЭС

05.14.03 "Ядерные энергетические установки"

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Минск – 2000

Работа выполнена в Институте проблем энергетики Национальной академии наук Беларуси и в Научно-исследовательском клиническом институте радиационной медицины и эндокринологии Минздрава Республики Беларусь

Научный руководитель –  
кандидат технических наук Савушкин И.А.

Научный консультант –  
кандидат биологических наук Миненко В.Ф.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Девойно А.Н.  
кандидат физико-математических наук Малько М.В.

Оппонирующая организация - Институт радиозологических проблем НАНБ

Защита состоится 23.05.2000 г. в 12<sup>00</sup> ч на заседании совета по защите диссертаций Д01.10.01 Института проблем энергетики Национальной академии наук Беларуси по адресу: 220109, Минск, Сосны, ИПЭ НАНБ.  
Телефон ученого секретаря совета: 246-75-93.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПЭ НАНБ.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " апреля 2000 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций  
доктор технических наук



Б.Е. Тверковкин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Аварии на АЭС, сопровождающиеся выбросами радионуклидов в окружающую среду, могут привести к загрязнению обширных территорий и возникновению потенциальной опасности облучения населения высокими дозами на больших расстояниях от источника выброса. Одним из основных факторов радиационной опасности для населения при аварийных выбросах продуктов деления из реактора является облучение щитовидной железы (ЩЖ) радионуклидами йода. В проблеме анализа радиологических последствий аварии на АЭС одной из наиболее актуальных является задача оценки среднegrупповых и коллективных доз облучения населения для прогнозирования ущерба здоровью облученного населения. Известно, что наиболее надежные оценки доз облучения могут быть получены на основе прямых инструментальных измерений активности радионуклидов в организме человека. Как показал опыт Чернобыльской аварии, в условиях масштабного загрязнения территорий и малого периода времени измерения активностей короткоживущих радиоизотопов йода могут быть проведены лишь для небольшой части населения. Одним из подходов, позволяющих оценить дозы облучения населения в отсутствие прямых измерений, является моделирование.

В настоящей работе для моделирования формирования доз облучения ЩЖ используется радиоэкологическая модель, адаптированная к условиям Беларуси. Разработанный подход применяется для реконструкции доз облучения ЩЖ  $^{131}\text{I}$  населения республики после аварии на Чернобыльской АЭС, а также для оценки уровней потенциального облучения ЩЖ населения в случае возможной аварии на одной из АЭС, расположенных в непосредственной близости от границ республики.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Данная работа выполнялась в Институте проблем энергетики Национальной академии наук Беларуси и Научно-исследовательском клиническом институте радиационной медицины и эндокринологии Минздрава Беларуси в рамках следующих научных программ:

- Государственной программы Республики Беларусь по минимизации и преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 1996–2000 гг. № ГР 1996504;
- белорусско-немецкого проекта "Ученые помогают детям Чернобыля", 1995–1996 гг.;

проекта ЕС INCO-Copernicus IC15CT960306 "Оценка риска радиационно-индуцированного рака щитовидной железы у детей и подростков, облученных вследствие Чернобыльской аварии", 1997–1998 гг.;

Государственной программы фундаментальных исследований НАНБ "Энергетика–54" "Прогнозирование динамики и разработка рекомендаций по

преодолению радиационно-экологических последствий аварийных ситуаций", 1996–2000 гг. № ГР 19961452;

- ГНТП "Энергетика", задание 06 "Разработать научно-техническое обоснование работ по безопасному развитию атомной энергетики в Республике Беларусь", № ГР 1998106.
- ГНТП "Энергетика–2000", задание Н.27 "Завершить комплекс работ по научно-техническому обеспечению безопасности развития атомной энергетики в Республике Беларусь", 1999–2000 гг. № ГР 19993325.

Отдельные этапы исследования были выполнены в рамках дозиметрической части белорусско-американского "Научного протокола по изучению рака и других заболеваний щитовидной железы в Беларуси после Чернобыльской аварии"

Цель и задачи исследования. Цель работы состоит в разработке модельного подхода к оценке доз облучения ЩЖ <sup>131</sup>I и его применении для реконструкции доз облучения населения Беларуси после аварии на ЧАЭС, а также для оценки уровней потенциального облучения ЩЖ населения в случае возможной аварии на одной из АЭС, расположенных в непосредственной близости от границ республики. Для достижения указанной цели решались следующие основные задачи:

- 1) оценка значений параметров радиозоологической модели;
- 2) оценка достоверности и анализ неопределенностей модельных расчетов доз облучения ЩЖ;
- 3) реконструкция доз облучения ЩЖ населения республики после аварии на ЧАЭС;
- 4) оценка радиологических последствий выбросов радиойода при запроектной аварии на ядерном энергетическом реакторе.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являлись дозы облучения ЩЖ населения, сформированные в результате аварийных выбросов радиоизотопов йода после аварии на АЭС. Предмет исследования – закономерности формирования доз облучения ЩЖ при переносе радиойода по пищевым цепям к человеку.

Методология и методы проведенного исследования. Для реконструкции доз облучения использовался метод радиозоологического моделирования. При оценке значений параметров и их вариабельности, а также соответствия рассчитываемых величин эмпирическим данным применялись методы статистического анализа: корреляционный и регрессионный анализ, критерий  $\chi^2$  Пирсона. Для проведения анализа неопределенности и чувствительности модельных расчетов использовался статистический метод Монте-Карло.

Научная новизна:

- 1) на основе оцененных регионально-специфических значений основных параметров проведена адаптация радиозоологической модели к условиям Беларуси;

2) рассчитаны численные значения фактора неопределенности результатов модельных расчетов доз облучения;

3) реконструированы индивидуальные, среднегрупповые и коллективные дозы облучения ЩЖ, в том числе для жителей территорий, не охваченных "прямыми измерениями" ЩЖ в 1986 г.;

4) рассчитаны отношения активности  $^{134,136,137}\text{Cs}$  в теле и активности  $^{131}\text{I}$  в ЩЖ, что позволило оценить влияние на измерения активности  $^{131}\text{I}$  в ЩЖ радионуклидов цезия, распределенных в теле человека;

5) оценены уровни потенциального облучения ЩЖ при аварийных выбросах радиойода на АЭС.

Практическая значимость полученных результатов. Модель и реконструированные на ее основе дозы облучения ЩЖ использовались в работах, выполняемых в Беларуси, по минимизации и преодолению медицинских последствий аварии на Чернобыльской АЭС: для оценки коэффициентов риска радиационно-индуцированной заболеваемости детей и подростков раком ЩЖ и для оценки риска развития психических и поведенческих расстройств среди детей, облученных внутриутробно. Практическая значимость полученных результатов заключается в использовании разработанного подхода для оценки радиологических последствий выбросов радионуклидов йода и прогнозирования уровней облучения ЩЖ населения в случае возможной аварии на одной из АЭС, расположенных в непосредственной близости от границ республики.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1) радиозокологическая модель оценки доз облучения ЩЖ, адаптированная к условиям республики;

2) численные значения фактора неопределенности результатов модельных расчетов доз облучения;

3) результаты реконструкции индивидуальных, среднегрупповых и коллективных доз облучения ЩЖ населения республики после аварии на Чернобыльской АЭС;

4) результаты оценки радиологических последствий выбросов радиойода при запроектной аварии на АЭС с реактором ВВЭР–1000.

Личный вклад соискателя. В диссертации представлены результаты научных исследований, выполненных автором самостоятельно, а также при его участии в 1994–1999 гг. Лично автором:

- оценены значения параметров модели;
- выполнен анализ неопределенности результатов модельных расчетов;
- реконструированы индивидуальные, среднегрупповые и коллективные дозы облучения ЩЖ населения Беларуси после аварии на Чернобыльской АЭС;
- оценены радиологические последствия выбросов радиойода при запроектной аварии на АЭС с реактором ВВЭР–1000;
- представлены результаты работы и сформулированы основные выводы.

Автор благодарит И.А.Савушкина и А.В.Улановского (ИПЭ НАНБ), Я.Э.Кенигсберга и В.Ф.Миненко (НИКИ РМиЭ), Г.М.Гулько и П.Якоба (ГСФ-институт радиационной защиты) за поддержку в проведении исследований, ценные замечания и обсуждение работы.

Апробация результатов диссертации. Результаты диссертационной работы опубликованы в материалах и представлены на Международном научном конгрессе "Молодые ученые в решении проблемы ликвидации медицинских последствий Чернобыльской катастрофы сегодня и в будущем" (г.Гомель, 1994); 10-м международном конгрессе по радиационным исследованиям (г.Вюрцбург, Германия, 1995); двух международных совещаниях "Реконструкция доз облучения" (г.Бад-Хоннеф, Германия, 1995, 1996); Международной конференции "Радиация и здоровье" (Израиль, 1996); научно-практической конференции "Медицинские последствия Чернобыльской катастрофы" (г.Минск, 1997); 9-й Международной конференции Европейского общества анализа риска (г.Роттердам, Голландия, 1999); Международном семинаре "Конверсия научных исследований в Беларуси в рамках деятельности МНТЦ" (г.Минск, 1999); 10-й ежегодной конференции Ядерного общества России "От Первой в мире АЭС к атомной энергетике XXI века" (г.Обнинск, 1999); докладывались на научных семинарах в ГСФ-институте радиационной защиты (Германия) в 1995, 1996 гг.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 26 печатных работ: из них 8 журнальных статей, 5 препринтов, 11 материалов научных конференций, 2 тезиса научных конференций, 4 работы без соавторов. Общее количество страниц опубликованных материалов – 292.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 120 страницах машинописного текста и состоит из введения, общей характеристики работы, обзора литературы, материалов и методов исследования, результатов исследований, изложенных в 5-ти главах, выводов и списка литературы, включающего 173 библиографические ссылки. Работа содержит 49 таблиц, иллюстрирована 35 рисунками.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** приведены литературные данные о радионуклидном составе и активности выбросов из разрушенного реактора Чернобыльской АЭС, а также географическое распределение плотностей выпадений основных радионуклидов. Рассмотрены основные пути облучения населения на разных стадиях развития аварии на АЭС и меры радиационной защиты, эффективные для каждого из этих путей облучения.

Наиболее значимым радиологическим последствием аварийных выбросов Чернобыльской АЭС явилось облучение ЩЖ короткоживущими радиоизотопами йода, в частности  $^{131}\text{I}$ . В последующие после аварии годы среди детского населения наблюдается рост заболеваний раком ЩЖ в Беларуси (Demidchik et al., 1996),

на Украине (Tronko et al., 1996) и в России (Tsyb et al., 1996). Проведенные исследования подтвердили достоверность наблюдаемого роста заболеваемости (Abelin et al., 1994) и то, что этот рост наиболее вероятно обусловлен внутренним облучением ЩЖ  $^{131}\text{I}$  (Astakhova et al., 1996). Изучение последствий аварии на ЧАЭС предоставляет уникальную возможность для уточнения коэффициентов риска возникновения рака ЩЖ вследствие внутреннего облучения  $^{131}\text{I}$ .

Выполненные многочисленные исследования по реконструкции доз облучения ЩЖ (Гаврилин и соавт., 1993, 1996; Likhtarev et al., 1993, 1994; Zvonova and Balonov, 1993) показали, что определяющим путем облучения ЩЖ для типичных условий жизнедеятельности населения явилось поступление  $^{131}\text{I}$  с продуктами питания местного производства, в основном с молоком и в меньшей степени с листовыми овощами.

Для реконструкции доз внутреннего облучения ЩЖ использовался метод радиозоологического моделирования процесса переноса активности по пищевым цепям к человеку. Для получения корректных результатов расчетов параметры модели, описывающие каждое звено в цепи переноса, должны соответствовать региональным радиозоологическим условиям. Поэтому для решения данной задачи оценены значения основных параметров модели, соответствующие условиям республики.

Моделирование является упрощением реальности, и процесс переноса радиоактивности по пищевым цепям не может быть в полном объеме отражен в модели. Поэтому результаты расчетов доз облучения неизбежно связаны с неопределенностью. Проведение анализа неопределенности обусловлено необходимостью оценки надежности результатов расчетов доз облучения (NCRP, 1996) и использования численных значений границ доверительных интервалов для коэффициентов риска (NRC, 1995).

Задача настоящего исследования заключалась в разработке модельного подхода к оценке доз облучения ЩЖ  $^{131}\text{I}$  и его применению для реконструкции доз облучения ЩЖ населения Беларуси после аварии на ЧАЭС, а также для оценки уровней потенциального облучения ЩЖ населения в случае возможной аварии на одной из АЭС, расположенных в непосредственной близости от границ республики.

**Во второй главе** приведено описание материалов и методов исследования. Рассмотрена математическая модель оценки доз облучения ЩЖ. Доза облучения ЩЖ для представителя  $i$ -й возрастной группы от перорального поступления  $^{131}\text{I}$  в пределах интервала времени  $t_1 - t_2$  оценивается согласно

$$D_i = \int_{t_1}^{t_2} I_i(t) \cdot DF_i dt, \quad (1)$$

где  $D_i$  – доза облучения ЩЖ представителя  $i$ -й возрастной группы от поступления  $^{131}\text{I}$  с продуктами питания, Гр;

$I_i(t)$  – функция поступления  $^{131}\text{I}$  в организм представителя  $i$ -й возрастной группы с продуктами питания, кБк·сут $^{-1}$ ;

$DF_i$  – возрастно-зависимая доза облучения ЩЖ на единицу перорального поступления  $^{131}\text{I}$  (ICRP, 1989), Гр·кБк $^{-1}$ ;

$t$  – переменная интегрирования, отражающая время поступления  $^{131}\text{I}$ , сут.

Функция поступления  $^{131}\text{I}$  в организм с молоком и листовыми овощами оценивается в рамках модели с использованием выражения

$$I_i(t) = TF_m \cdot \int_0^t (C_g(\tau) \cdot I_g \cdot \exp(-\lambda_{w+d} \cdot \Delta t_{pd}) + C_s(\tau) \cdot \frac{I_s}{H_s \cdot \rho_s}) \cdot \lambda_b \cdot \exp(-(\lambda_b + \lambda_r) \cdot (t - \tau)) d\tau \times \\ \times \exp(-\lambda_r \cdot (\Delta t_m + \Delta t_{pd})) \cdot P_m \cdot V_{i,m} + C_g(t) \cdot \exp(-(\lambda_{w+d} + \lambda_r) \cdot \Delta t_{id}) \cdot \exp(-\lambda_r \cdot \Delta t_l) \cdot P_l \cdot V_{i,l}, \quad (2)$$

где  $TF_m$  – коэффициент перехода  $^{131}\text{I}$  в молоко, сут·л $^{-1}$ ;

$C_g(\tau), C_s(\tau)$  – активность  $^{131}\text{I}$  в растительности (кБк·кг $^{-1}$ ) и на почве (кБк·м $^{-2}$ );

$I_g, I_s$  – суточное потребление коровой травы и почвы, кг·сут $^{-1}$ ;

$\lambda_{w+d}$  – скорость очистки растительности от  $^{131}\text{I}$  из-за процессов выветривания и роста, сут $^{-1}$ ;

$\Delta t_{pd}$  – интервал времени от момента выпадений до начала пастбищного периода, сут;

$H_s$  – толщина верхнего слоя почвы, в пределах которого распределена активность радионуклида, м;

$\rho_s$  – плотность верхнего слоя почвы, кг·м $^{-3}$ ;

$\lambda_b$  – постоянная биологического выведения  $^{131}\text{I}$  из молока, сут $^{-1}$ ;

$\lambda_r$  – постоянная радиоактивного распада  $^{131}\text{I}$ , сут $^{-1}$ ;

$\Delta t_m, \Delta t_l$  – интервал времени от момента производства до момента потребления молока и листовых овощей, сут;

$P_m, P_l$  – коэффициент снижения активности за счет кулинарной обработки для молока и листовых овощей, отн.ед;

$V_{i,m}, V_{i,l}$  – среднесуточное потребление молока и листовых овощей представителем  $i$ -й возрастной группы, кг·сут $^{-1}$ ;

$\Delta t_{id}$  – интервал времени от момента выпадений до начала потребления листовых овощей, сут.

Зависимость активности  $^{131}\text{I}$  в растительности и на почве от времени описывается следующими выражениями:

$$C_g(t) = GD_{131} \cdot \frac{f}{Y} \cdot \exp(-(\lambda_{w+d} + \lambda_r) \cdot t); \quad (3)$$

$$C_s(t) = GD_{131} \cdot (1 - f) \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t), \quad (4)$$

где  $GD_{131}$  – плотность выпадений  $^{131}\text{I}$  на растительность и почву, кБк·м $^{-2}$ ;



$f$  – фактор начального удержания  $^{131}\text{I}$  растительностью, отн. ед.;  
 $Y$  – урожай растительности, кг·м<sup>-2</sup>.

В этой главе рассмотрен также метод анализа неопределенности и чувствительности. Анализ неопределенности, обусловленной вариабельностью параметров модели (*parameter uncertainty analysis*), проводился в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ (IAEA, 1989) и с использованием статистического метода Монте-Карло. Анализ чувствительности модели, заключающийся в определении параметров, которые вносят наибольший вклад в вариабельность модельных оценок, выполнен путем расчета коэффициента ранговой корреляции между вариабельностью параметра модели и результатом расчета, а также с использованием метода "индивидуальной пертурбации параметров" (Rose and Swartzman, 1981; Hoffman and Gardner, 1983).

**В третьей главе** представлены результаты оценок регионально-специфических значений основных радиозокологических параметров модели: плотности выпадений  $^{131}\text{I}$ ; фактора начального удержания  $^{131}\text{I}$  растительностью; вегетационного периода и урожая растительности; скорости очистки растительности от  $^{131}\text{I}$ ; суточного потребления травы и почвы коровой на пастбище; коэффициента перехода  $^{131}\text{I}$  из рациона в молоко коровы; возрастно-зависимых уровней потребления продуктов питания.

Плотность выпадений  $^{131}\text{I}$  служит стартовой точкой для оценки переноса радионуклида через окружающую среду и продукты питания к человеку. К сожалению, прямые измерения плотности выпадений  $^{131}\text{I}$  после аварии на ЧАЭС являются единичными. Одной из характеристик радиационной обстановки в населенном пункте (НП), для которой получены представительные оценки по всей территории республики, является плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ . Плотность выпадений  $^{131}\text{I}$  определялась как

$$GD_{131} = \sigma_{137} \cdot R_{I/Cs}, \quad (5)$$

где  $\sigma_{137}$  – плотность выпадений  $^{137}\text{Cs}$ , кБк·м<sup>-2</sup>;  
 $R_{I/Cs}$  – отношение активностей  $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  в выпадениях, отн. ед.;

С использованием результатов измерений проб почвы и травы, выполненных в одном и том же НП (Савкин и соавт., 1992), получена зависимость фактора начального удержания  $^{131}\text{I}$  растительностью от плотности загрязнения территории  $^{131}\text{I}$ . Данная зависимость описывается выражением (коэффициент корреляции  $r=0,53$ ,  $P<0,01$ ):

$$f = 14,8 \cdot (GD_{131})^{-0,54}. \quad (6)$$

Значения параметров модели, оцененные по результатам выполненных в республике прямых инструментальных измерений (Дубина и соавт., 1990; Савкин и соавт., 1992) и по литературным данным (Müller and Pröhl, 1993; Романов, 1993; и др.), приведены в табл.1.

Таблица 1

Значения параметров модели оценки доз облучения ЩЖ

Параметр	Единица измерения	Значение
$R_{l/cs}$	отн.ед.	4–20*
$Y$	кг·м <sup>-2</sup>	0,2–0,3*
$I_g$	кг·сут <sup>-1</sup>	40
$I_s$	кг·сут <sup>-1</sup>	1
$\Delta t_{pd}$	сут	0–8*
$\Delta t_{ld}$	сут	14–22*
$H_s$	м	$5 \cdot 10^{-3}$
$\rho_s$	кг·м <sup>-3</sup>	$1 \cdot 10^3$
$TF_m$	сут·л <sup>-1</sup>	$2,3 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_b$	сут <sup>-1</sup>	0,99
$\lambda_{w+d}$	сут <sup>-1</sup>	0,067
$\Delta t_m$	сут	0–1*
$\Delta t_l$	сут	0–1*
$P_m$	отн.ед.	1,0
$P_l$	отн.ед.	0,7
$V_{i,m}$	л·сут <sup>-1</sup>	0,4–0,7**
$V_{i,l}$	кг·сут <sup>-1</sup>	0,03

\* Значения приведены для разных регионов республики.

\*\* Значения приведены для разных возрастных групп.

В этой главе также проанализировано влияние особенностей жизнедеятельности и защитных мероприятий на формирование доз облучения. Рассчитаны численные значения коэффициентов снижения доз облучения ЩЖ в зависимости от даты прекращения поступления <sup>131</sup>I в организм и начала пастбищного периода. Рассмотрены особенности формирования доз облучения отдельных групп населения и индивидуальных доз облучения.

**В четвертой главе** представлены результаты анализа неопределенности. Анализ неопределенности выполнен для двух результатов расчета доз облучения ЩЖ: средней по НП для *i*-й возрастной группы населения и индивидуальной дозы облучения. Для основных параметров модели проведена оценка функции плотности вероятности на основе эмпирических распределений методом максимального

правдоподобия. Проверка соответствия выбранного типа распределения и эмпирических данных проведена с использованием критерия  $\chi^2$  Пирсона. В табл.2 представлены полученные типы распределения и характеристики функции плотности вероятности параметров модели расчета доз облучения ЩЖ.

Таблица 2

Типы распределения и характеристики функции плотности вероятности параметров модели оценки доз облучения ЩЖ

Параметр	Характеристика функции плотности вероятности				
	Тип распределения	$x_{av}$ ( $x_{50}$ )	$\sigma$ ( $\beta$ )	$x_{2,5}$	$x_{97,5}$
$GD_{131}$ *	лог.нормальное	1,0	0,6 (1,7)	0,35	2,9
$f^*$	"	1,0	1,1 (2,5)	0,15	6,3
$Y$	равномерное	0,27	0,05	0,18	0,36
$I_g$	"	40	6	30	50
$I_s$	"	1	0,3	0,5	1,5
$H_s$	"	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$
$\rho_s$	"	$1 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^2$	$9 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^3$
$TF_m$	лог.нормальное	$3,0 \cdot 10^{-3}$ ( $2,3 \cdot 10^{-3}$ )	$2,6 \cdot 10^{-3}$ (2,1)	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$
$\lambda_b$	треугольное	0,81	0,10	0,63	0,99
$\lambda_{w+d}$	нормальное	0,067	0,016	0,035	0,099
$\Delta_{pd}$	равномерное	3	1	0	3
$\Delta_{ld}$	"	0	4	-7	+7
$P_l$	нормальное	0,7	0,3	0,1	1,0
$V_m, V_l$ *	"	1,0	0,35	0,3	1,7
$s$	"	0,3	0,07	0,16	0,46
$\lambda_{th}$ *	"	1,0	0,2	0,6	1,4
$m^*$	"	1,0	0,4	0,2	1,8
$DF^*$	лог.нормальное	1,0	0,5 (1,6)	0,3	2,2

\* Для параметров в расчетах используются разные абсолютные значения, поэтому в таблице для значений  $x_{2,5}$  и  $x_{97,5}$  приведен интервал относительной вариативности в виде сомножителей для определенного среднего значения (медианы) распределения.

Функции плотности вероятности доз облучения ЩЖ для разных возрастных групп рассчитаны с использованием статистического метода Монте-Карло. В табл.3 приведены значения отношений границ 90%-го ( $x_{95}/x_5$ ) и 95%-го ( $x_{97,5}/x_{2,5}$ ) доверительных интервалов функции плотности вероятности, а также факторы неопределенности доз облучения для возрастных групп 1 год, 10 и 20 лет. Оценка зна-

чений фактора неопределенности выполнена, принимая во внимание логарифмически нормальный характер кривых распределений, в терминах стандартного геометрического отклонения. Значения фактора неопределенности составляют 2,3–2,4 для средних по НП и 2,6–3,1 для индивидуальных доз облучения. Такого рода неопределенность в соответствии с данными (US EPA, 1989) считается умеренной, и оценки доз облучения, получаемые в рамках модели, характеризуются средней степенью надежности.

Таблица 3

Характеристики функции плотности вероятности и факторы неопределенности ( $UF$ ) средних по НП и индивидуальных доз облучения ЦЖ

Характеристика	Возрастная группа, лет					
	1	10	20	1	10	20
	средняя доза облучения			индивидуальная доза		
$x_{95} / x_5$	18	17	19	24	24	42
$x_{97,5} / x_{2,5}$	30	28	33	53	43	91
$UF$	2,3	2,3	2,4	2,7	2,6	3,1

Выполненный анализ чувствительности показал, что для обоих вариантов оценок доз облучения ЦЖ (среднегрупповой по НП и индивидуальной) результаты модельных расчетов наиболее чувствительны к варибельности параметров модели, описывающих выпадения радиойода и его перенос по цепи "трава–молоко": фактора начального удержания  $^{131}I$  растительностью, коэффициента перехода  $^{131}I$  в молоко и плотности выпадений радионуклида. Значительный вклад в неопределенность расчетов индивидуальных доз облучения ЦЖ вносят масса ЦЖ и фракция йода, накапливаемая в критическом органе.

Уточнение значений наиболее чувствительных параметров дает возможность уменьшить неопределенность расчетов доз облучения, выполненных после аварии на ЧАЭС, и в случае возможной аварии на АЭС. Реконструкция плотности выпадений  $^{131}I$  после аварии на ЧАЭС с использованием результатов измерений  $^{129}I$  в почве, а также создание верифицированной базы данных измерений  $^{131}I$  в объектах окружающей среды позволит уменьшить неопределенность оцениваемых доз облучения ЦЖ.

**В пятой главе** проведена верификация модельных расчетов, выполнен анализ особенностей формирования доз облучения ЦЖ и приведены результаты реконструкции индивидуальных, среднегрупповых и коллективных доз облучения ЦЖ населения Беларуси после аварии на ЧАЭС.

Для верификации модели и оценки достоверности получаемых результатов проведено сравнение модельных расчетов и доступных данных прямых инструментальных измерений. Сравнение модельных оценок с результатами измерений осуществлялось путем анализа отношения предсказываемой и наблюдаемой величин. В первые недели после аварии на ЧАЭС в наиболее загрязненных районах Беларуси были выполнены прямые инструментальные измерения мощности экспозиционной дозы над ЩЖ, которые впоследствии использовались специалистами Института биофизики для реконструкции доз внутреннего облучения ЩЖ (Гаврилин и соавт., 1992, 1993). Для результатов модельных расчетов среднegrупповых доз облучения проведено сравнение со средними дозами облучения ЩЖ, оцененными по прямым измерениям, для НП из 9 районов Гомельской и Могилевской областей со статистически значимым числом измерений (более 15 человек в каждой возрастной группе). В качестве примера на рис.1 показана зависимость отношения средних доз облучения от плотности выпадений  $^{137}\text{Cs}$  для взрослых жителей 292 НП.

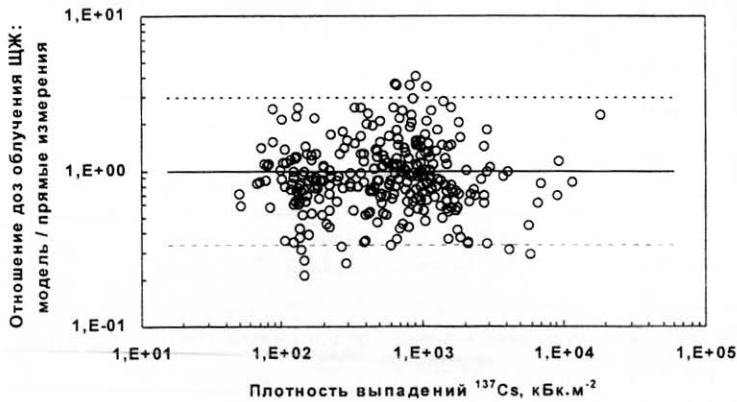


Рис.1. Зависимость отношения средних доз облучения ЩЖ взрослых от плотности выпадений  $^{137}\text{Cs}$

Анализ распределения отношения предсказываемой и наблюдаемой величин для разных возрастных групп показал, что 95 % результатов согласуются между собой в пределах фактора 2,5–3. Также установлено отсутствие корреляции между отношением и плотностью выпадений  $^{137}\text{Cs}$  ( $\rho=0,01-0,23$ ,  $P<0,05$ ), т.е. в пределах трех порядков величины плотности выпадений  $^{137}\text{Cs}$  не наблюдается значительной недооценки или переоценки доз облучения ЩЖ.

Выполненный в работе (Гаврилин и соавт., 1996) анализ особенностей формирования доз облучения ЩЖ, рассчитанных по прямым измерениям, показал наличие нелинейной зависимости нормированных на единицу плотности загрязнения доз облучения ЩЖ от плотности загрязнения. На рис.2 для незавакуированных НП Брагинского района представлена зависимость нормированных на плотность выпадений  $^{137}\text{Cs}$  доз облучения ЩЖ, оцененных по прямым измерениям и по модели, от плотности выпадений  $^{137}\text{Cs}$ . Наблюдаемая для расчетов по модели нелинейная зависимость, на наш взгляд, обусловлена особенностями дозоформирования, рассмотренными в модели, а именно наличием нелинейной зависимости фактора начального удержания  $^{131}\text{I}$  растительностью от плотности выпадений.

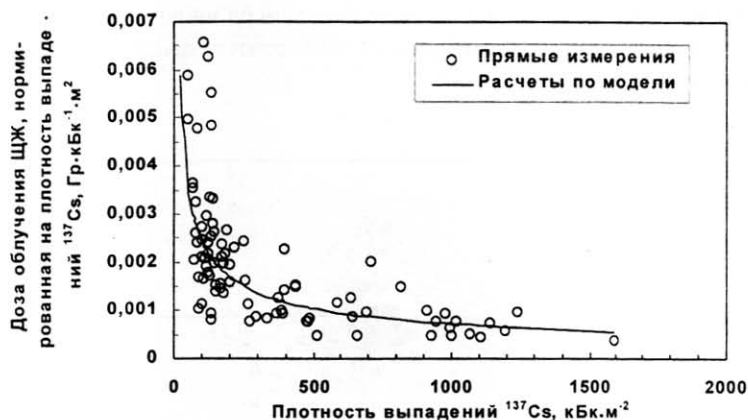


Рис.2. Зависимость нормированных доз облучения ЩЖ от плотности выпадений  $^{137}\text{Cs}$

С использованием разработанного модельного подхода проведена реконструкция среднegrупповых и коллективных доз облучения ЩЖ населения республики после аварии на Чернобыльской АЭС, в том числе не охваченного прямыми измерениями 1986 г. Дозы облучения ЩЖ  $^{131}\text{I}$  в целом по республике составили 0,15 Гр для детей возраста 0–6 лет; 0,07 Гр для возрастной группы 7–17 лет; и 0,04 Гр для взрослых. На рис.3 в качестве примера показано географическое распределение средних доз облучения ЩЖ для возрастной группы 0–6 лет. Коллективная доза облучения ЩЖ  $^{131}\text{I}$  жителей республики составила  $553 \cdot 10^3$  чел·Гр, в том числе для детей возраста 0–6 лет –  $181 \cdot 10^3$  чел·Гр; детей и подростков возраста 7–17 лет –  $100 \cdot 10^3$  чел·Гр.

Показана возможность использования представленной модели для реконструкции индивидуальных доз облучения ЩЖ. Распределение индивидуальных доз облучения ЩЖ среди детей Беларуси с заболеванием рака ЩЖ характеризу-

ется средним значением 0,7 и максимальным – 7,7 Гр. Распределение индивидуальных доз пренатального облучения ЩЖ детей характеризуется средним значением 0,4 и максимальным – 4,1 Гр.

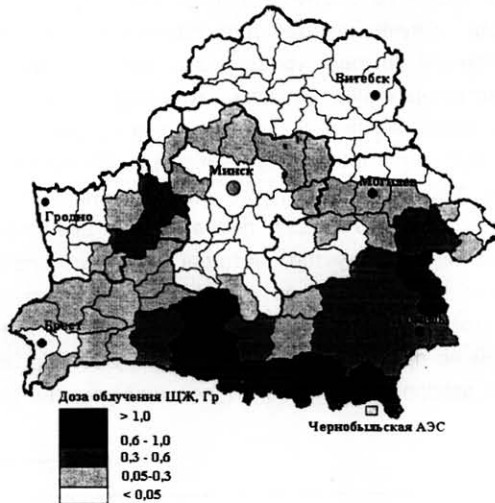


Рис.3. Географическое распределение доз облучения ЩЖ для детей 0–6 лет

**В шестой главе** приведены результаты исследований по оценке радиологических последствий выбросов радиоизотопов йода на ранней и промежуточной стадиях развития запроектной аварии на АЭС. Рассмотрена запроектная авария на АЭС с реактором ВВЭР-1000, вероятность которой составляет менее  $10^{-7}$  год $^{-1}$ . Выброс радионуклидов йода в рамках аварийного сценария находится на умеренном уровне и составляет менее 0,1% от накопленной активности (Гришмановский и соавт., 1989). Оценка загрязнения окружающей среды основными радионуклидами йода в выбросе ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$ ,  $^{134}\text{I}$ ,  $^{135}\text{I}$ ) выполнена с использованием программного комплекса COSYMA (Jones et al., 1995). Параметры дисперсии примесей в атмосфере за счет диффузии определялись в зависимости от категории устойчивости погоды по Пасквиллу. Расчеты выполнены для трех сценариев погодных условий: сухие выпадения, выпадения с осадками интенсивностью  $R=1$  мм·ч $^{-1}$  и  $R=3$  мм·ч $^{-1}$ . В зависимости от расстояния от точки выброса оценивались величины интегральной концентрации радионуклидов в воздухе и плотности выпадений радионуклидов на почву.

Проведены расчеты потенциальных уровней облучения ЩЖ населения для двух путей поступления радионуклидов в организм человека: перорального с продуктами питания и ингаляционного с вдыхаемым воздухом. Функция перорального

поступления радионуклидов оценивалась с использованием разработанного модельного подхода. На рис.4 для детей возрастной группы 5 лет приведены прогнозируемые на разных расстояниях от АЭС дозы внутреннего облучения ЩЖ для трех вариантов погодных условий выпадений.

Полученные значения доз облучения показывают, что проведение йодной профилактики среди детей потребует в пределах 10-км зоны АЭС, поскольку прогнозируемая доза облучения ЩЖ для данной возрастной группы может превысить установленный верхний уровень дозового критерия 250 мГр (МКРЗ, 1987). Введение экстренных мер защиты (эвакуация) может потребоваться в пределах 6-км зоны, поскольку прогнозируемая доза облучения ЩЖ детей может превысить уровень 500 мГр. Прогнозируемая доза облучения ЩЖ взрослых за пределами 3-км зоны АЭС не превысит установленный верхний уровень дозового критерия 500 мГр. В случае если сразу после аварии вводится ограничение на потребление населением продуктов питания местного производства, доза внутреннего облучения ЩЖ будет формироваться только за счет ингаляционного поступления. При этом за пределами 3-км зоны АЭС прогнозируемая доза облучения ЩЖ детей не превысит верхний уровень 250 мГр, и прогнозируемая доза облучения ЩЖ взрослых не превысит верхний уровень дозового критерия 500 мГр.

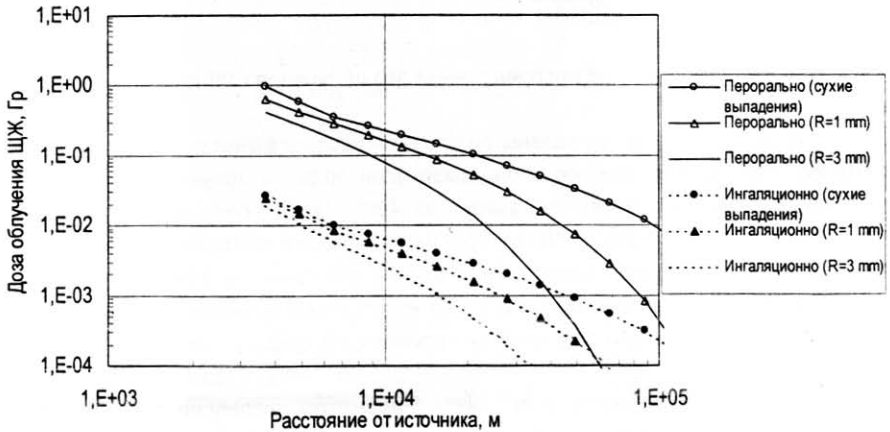


Рис.4.Прогнозируемые дозы внутреннего облучения ЩЖ для детей 5 лет

Проведено сравнение радиологической опасности радионуклидов йода в аварийном выбросе для основных путей облучения, реализуемых на начальной и промежуточной стадиях развития запроектной аварии. Наиболее радиационно опасным радионуклидом, характеризующимся максимальным значением риска, является  $^{131}\text{I}$ ; высоким значением –  $^{133}\text{I}$  и  $^{135}\text{I}$ ; умеренным значением –  $^{132}\text{I}$  и  $^{134}\text{I}$ .



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С целью адаптации радиозокологической модели для оценки доз облучения ЩЖ жителей республики выполнена оценка регионально-специфических значений основных параметров модели, проанализировано влияние особенностей жизнедеятельности и защитных мероприятий на формирование доз облучения, рассчитаны численные значения коэффициентов снижения доз облучения ЩЖ в зависимости от даты прекращения поступления  $^{131}\text{I}$  в организм, рассмотрены особенности формирования доз облучения отдельных групп населения и индивидуальных доз облучения [2,10].

2. Результаты анализа неопределенности показывают, что функция плотности вероятности средней по НП дозы облучения ЩЖ представляет собой кривую логнормального распределения. Рассчитанные численные значения фактора неопределенности 2,3–2,4 для средних по НП и 2,6–3,1 для индивидуальных доз облучения ЩЖ показывают, что результаты оценок доз облучения в рамках рассматриваемой модели характеризуются средней степенью надежности. Определены параметры модели, вносящие наибольший вклад в результирующую неопределенность доз облучения ЩЖ: фактор начального удержания  $^{131}\text{I}$  растительностью, коэффициент перехода  $^{131}\text{I}$  в молоко и плотность выпадений радионуклида [11,23,25]. Уточнение значений этих параметров даст возможность уменьшить неопределенность расчетов доз облучения [1,19].

3. Достоверность математической модели и получаемых результатов расчетов обоснована путем сравнения модельных расчетов с результатами прямых инструментальных измерений и доз облучения ЩЖ, оцененных на основе прямых измерений. Сравнение показало, что модель дает реалистичные оценки доз облучения ЩЖ. При этом согласие модельных расчетов и прямых измерений наблюдается для регионов республики, характеризующихся разными условиями, уровнями и датами выпадений радионуклидов [2,9,10,21].

4. Показана возможность использования представленной в диссертации модели для реконструкции индивидуальных, среднegrupповых и коллективных доз облучения ЩЖ  $^{131}\text{I}$  населения республики после аварии на Чернобыльской АЭС, в том числе не охваченного прямыми измерениями в 1986 г. [2,4,8,10,14–16,26]. Рассчитанные по модели отношения активности  $^{134,136,137}\text{Cs}$  в теле и активности  $^{131}\text{I}$  в ЩЖ применялись для оценки влияния радиоизотопов цезия, распределенных в теле человека, на результаты измерений активности  $^{131}\text{I}$  в ЩЖ [9], что дает возможность уточнения индивидуальных доз облучения ЩЖ, рассчитанных по результатам прямых измерений [17].

5. Реконструированные дозы облучения ЩЖ используются в работах по минимизации и преодолению медицинских последствий аварии на Чернобыльской АЭС для оценки коэффициентов риска возникновения радиационно-индуцированного рака ЩЖ среди детей и подростков [3,5,7], а также для оценки

риска развития психических и поведенческих расстройств среди детей, облученных внутриутробно на различных сроках гестации [4,6,22,24].

6. Рассчитаны возраст-зависимые уровни облучения ЩЖ населения, проживающего на разных расстояниях от АЭС, в случае запроектной аварии на реакторе ВВЭР-1000 [18,20]. Подтверждено, что на ранней и промежуточной стадиях развития аварии наиболее радиационно опасным среди радиоизотопов йода, характеризующихся максимальным значением риска, является  $^{131}\text{I}$ ; высоким значением –  $^{133}\text{I}$  и  $^{135}\text{I}$ ; умеренным значением –  $^{132}\text{I}$  и  $^{134}\text{I}$  [12,13].

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

1. Straume T., Marchetti A.A., Anspaugh L.R., Khrouch V.T., Gavrilin Yu.I., Shinkarev S.M., Drozdovitch V.V., Ulanovsky A.V., Korneev S.V., Brekeshev M.K., Leonov E.S., Voigt G., Panchenko S.V., Minenko V.F. The feasibility of using  $^{129}\text{I}$  to reconstruct  $^{131}\text{I}$  deposition from the Chernobyl reactor accident // *Health Phys.* – 1996. –V.71. – P.733–740.
2. Drozdovitch V.V., Goulko G.M., Minenko V.F., Paretzke H.G., Voigt G., Kenigsberg Ya.I. Thyroid dose reconstruction for the population of Belarus after the Chernobyl accident // *Radiat. Environ. Biophys.* –1997. –V.36. –P.17–23.
3. Jacob P., Goulko G., Heidenreich W.F., Likhtarev I., Kairo I., Tronko N.D., Bogdanova T., Kenigsberg J., Buglova E., Drozdovitch V., Golovneva A., Demidchik E.P., Balonov M., Zvonova I., Beral V. Thyroid cancer risk to children calculated // *Nature.* –1998. –V.392, №5. –P.31–32.
4. Kolominsky Y., Igumnov S., Drozdovitch V. The psychological development of children from Belarus exposed in the prenatal period to radiation from the Chernobyl atomic power plant // *J. Child Psychol. Psychiat.* –1999. –V.40, №2. – P.299–305.
5. Jacob P., Kenigsberg Y., Zvonova I., Goulko G., Buglova E., Heidenreich W.F., Golovneva A., Bratilova A.A., Drozdovitch V., Krug J., Pochetnaja G.T., Balonov M., Demidchik E., Paretzke H.G. Childhood exposure due to the Chernobyl accident and thyroid cancer risk in contaminated areas of Belarus and Russia // *British J. of Cancer.* –1999. –V.80, №9. –P.1461–1469.
6. Игумнов С.А., Дроздович В.В. Интеллектуальное развитие, особенности психических и поведенческих расстройств у детей, матери которых подверглись воздействию патогенных радиозоологических и психосоциальных факторов, обусловленных аварией на ЧАЭС, на различных сроках беременности // *Радиация и риск.* –1999. –вып.11.– С.101–107.
7. Jacob P., Kenigsberg J., Zvonova I., Heidenreich W.F., Buglova E., Goulko G., Drozdovitch V., Golovneva A., Demidchik E.P., Balonov M., Paretzke H.G. Thyroid cancer among Belarussian and Russian population exposed by the Chernobyl accident // *Intern. J. Radiat. Med.* –1999. –V.3–4. –P.7–10.
8. Goulko G., Likhtarev I., Kayro I., Chepurny N., Shpak V., Moskalyuk A., Kenigsberg Ya, Drozdovitch V., Minenko V., Zvonova I., Balonov M., Jacob P., Pröhl G., Voigt G.

- Retrospective reconstruction of the thyroid doses after the Chernobyl accident // Intern. J. Radiat. Med. –1999. –V.3–4. –P.11–16.
9. Улановский А.В., Дроздович В.В. Влияние радионуклидов, распределенных в теле человека, на оценку доз облучения щитовидной железы по результатам прямых измерений. –Минск, 1997. –32 с. – (Препринт / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т проблем энергетики; ИПЭ–27).
  10. Дроздович В.В. Моделирование формирования доз облучения щитовидной железы <sup>131</sup>I для оценки радиологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС. –Минск, 1998. –41 с. – (Препринт / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т проблем энергетики; ИПЭ–37).
  11. Дроздович В.В. Неопределенности доз облучения щитовидной железы, используемых для оценки радиологических последствий аварии на АЭС.– Минск, 1999. –27 с. – (Препринт / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т проблем энергетики; ИПЭ–43).
  12. Савушкин И.А., Равкова Е.И., Улановский А.В., Дроздович В.В. Радиологическая опасность радиоактивных выбросов при запроектных авариях реактора типа ВВЭР. – Минск, 1999. – 45 с. – (Препринт / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т проблем энергетики; ИПЭ–44).
  13. Савушкин И.А., Дроздович В.В., Равкова Е.И., Улановский А.В. Радиологические последствия радиоактивных выбросов радиойода при запроектных авариях реактора типа ВВЭР. – Минск, 1999. – 29 с.–(Препринт/ Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т проблем энергетики; ИПЭ–47).
  14. Buglova E., Drozdovitch W., Goulko G., Kenigsberg J., Minenko V., Robl H., Voigt G. Dose assessment for the children with thyroid cancer in Belarus // Proceedings of the Tenth International Congress of Radiation Research, Würzburg, Germany, 27 August–1 September 1995 / Würzburg, 1996. – V.2. – P.1147–1150.
  15. Дроздович В.В., Миненко В.Ф., Улановский А.В. Реконструкция индивидуальных доз облучения щитовидной железы детей // Медицинские последствия Чернобыльской катастрофы: Сб. статей науч.-практ. конф., Минск, 25–26 июня 1997 / Минздрав РБ. НИКИ радиационной медицины и эндокринологии. – Минск, 1997. – С.91–95.
  16. Kenigsberg J., Buglova E., Drozdovitch V., Dubovsky S., Kirillov V., Kruk J., Melnov S., Minenko V., Mirchaidarov A., Shevchuk V. Dose reconstruction of childhood and liquidators in Belarus // Chernobyl-related health effects: Proceedings of Sixth Symposium, Tokyo, Japan, 10–11 December 1997 / Tokyo, 1998. – P.37–62.
  17. Minenko V., Shemyakina E., Gavrilin Yu., Khrouch V., Shinkarev S., Drozdovitch V., Ulanovsky A., Bouville A. Estimation of individual thyroid doses received by the subjects of the cohort screened in the Belarusian-American study // EUR 18552 EN– Radiation and Thyroid Cancer (eds. G.Thomas, A.Karaoglou, and E.D.Williams)/ Singapore: World Scientific. –1999. –P.709–717.
  18. Савушкин И., Тверковкин Б., Дроздович В., Гурко О., Равкова Е., Улановский А. Анализ радиозологических последствий на ранней стадии развития аварий на

- АЭС, окружающих Республику Беларусь // Конверсия научных исследований в Беларуси в рамках деятельности МНТЦ; Материалы Межд. семинара, Минск, 17–22 мая 1999 / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т физики.– Минск, 1999.– С.278–281.
19. Герменчук М.Г., Жукова О.М., Шагалова Э.Д., Дроздович В.В., Улановский А.В. Реконструкция радиоактивного загрязнения территории Беларуси йодом-131 после аварии на ЧАЭС // Конверсия научных исследований в Беларуси в рамках деятельности МНТЦ; Материалы Межд. семинара, Минск, 17–22 мая 1999 / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т физики.– Минск, 1999.–С.320–323.
20. Савушкин И.А., Равкова Е.И., Гурко О.Б., Дроздович В.В., Улановский А.В. Расчетный анализ выбросов активности при тяжелых авариях на АЭС с реакторами типа ВВЭР // От Первой в мире АЭС к атомной энергетике XXI века: Материалы X-й ежегодной конф. Ядерного общества России, Обнинск, 28 июня–2 июля 1999. –Обнинск, 1999. –С.51–52.
21. Дроздович В.В., Савушкин И.А. Моделирование и оценки доз облучения щитовидной железы вследствие аварийных выбросов  $^{131}\text{I}$  на АЭС // От Первой в мире АЭС к атомной энергетике XXI века: Материалы X-й ежегодной конф. Ядерного общества России, Обнинск, 28 июня–2 июля 1999. –Обнинск, 1999.– С.113–114.
22. Igumnov S.A., Drozdovitch V.V. The psychological status of children exposed *in utero* // Proceedings of the XI World Congress of psychiatry, Hamburg, Germany, August 6 – 11, 1999. –Hamburg, 1999. –V.II. –P.106–107.
23. Drozdovitch V.V. Uncertainties of the Chernobyl thyroid dose assessment made using environmental transfer model // Risk Analysis: Facing the New Millennium: Proceedings of the 9<sup>th</sup> Annual Conference, Rotterdam, Netherlands, 10–13 October 1999. –Rotterdam, 1999.
24. Igumnov S.A., Drozdovitch V.V. Mental risk among children in Belarus exposed *in utero* following the Chernobyl accident // Risk Analysis: Facing the New Millennium: Proceedings of the 9<sup>th</sup> Annual Conference, Rotterdam, Netherlands, 10–13 October 1999. –Rotterdam, 1999.
25. Дроздович В.В. Неопределенность расчета дозы облучения щитовидной железы, используя модель переноса  $^{131}\text{I}$  в окружающей среде // Молодые ученые в решении проблемы ликвидации медицинских последствий Чернобыльской катастрофы сегодня и в будущем: Тез. докл. Межд. научного конгресса, Гомель, 18–20 сент. 1994. –Гомель, 1994. – С.21.
26. Voigt G., Buglova E., Demidchik E., Drozdovitch W., Goulko G., Kenigsberg J., Müller H., Paretzke H.G. Reconstruction of thyroid doses for children with thyroid cancer in Belarus // Radiation and Health. Book of abstracts of the International Conference, Beer Sheva, Israel, 3–7 November 1996. –University of Beer Sheva.– Beer Sheva, 1996. –P.32.

### РЕЗЮМЕ

Дроздовіч Уладзімір Вячаслававіч. ФАРМИРАВАННЕ ДОЗ АПРАМЕНЬВАННЯ ШЧЫТАПАДОБНАЙ ЗАЛОЗЫ НАСЕЛЬНІЦТВА БЕЛАРУСІ ДЛЯ АЦЭНКІ РАДЫЯЛАГІЧНЫХ ВЫНІКАУ АВАРЫЙНЫХ ВЫКІДАЎ РАДЫЯЁДУ НА АЭС.

*Ядзерная аварыя, унутранае апраменьванне, доза, радыёнукліды ёду, шчытападобная залоза, радыёэкалагічная мадэль*

Разгледжаны пытанні мадэліравання доз унутранага апраменьвання шчытападобнай залозы (ШЗ) пры аварыйных выкідах радыёнуклідаў ёду на АЭС. Для ацэнкі доз апраменьвання ШЗ была выкарыстана радыёэкалагічная мадэль, якая адаптавана да лакальных умоў Беларусі. Прыведзены вынікі рэканструкцыі індывідуальных, сярэднегрупавых і калектыўных доз апраменьвання ШЗ <sup>131</sup>I насельніцтва рэспублікі пасля аварыі на Чарнобыльскай АЭС. Даставернасць матэматычнай мадэлі і вынікаў разлікаў абгрунтавана шляхам параўнання вынікаў мадэльных разлікаў з вынікамі інструментальных вымярэнняў і доз апраменьвання ШЗ, якія атрыманы на аснове прамых вымярэнняў. Распрацаваны мадэльны падыход был выкарыстаны для ацэнкі ўзроста-залежных узроўняў апраменьвання ШЗ насельніцтва ў выпадку праектнай аварыі на АЭС з рэактарам ВВЭР-1000.

### РЕЗЮМЕ

Дроздович Владимир Вячеславович. ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ РАДИОЙОДА НА АЭС.

*Ядерная авария, внутреннее облучение, доза, радионуклиды йода, щитовидная железа, радиэкологическая модель*

Рассмотрены вопросы моделирования доз внутреннего облучения щитовидной железы (ЩЖ) при аварийных выбросах радионуклидов йода на АЭС. Для оценки доз облучения ЩЖ использована радиэкологическая модель, адаптированная к условиям Беларуси. Приведены результаты реконструкции индивидуальных, среднegrуповых и коллективных доз облучения ЩЖ <sup>131</sup>I населения республики после аварии на Чернобыльской АЭС. Достоверность математической модели и получаемых результатов расчетов обоснована путем сравнения модельных расчетов с результатами инструментальных измерений и доз облучения ЩЖ, оцененных на основе прямых измерений. Разработанный модельный подход использован для оценки возрастнo-зависимых уровней облучения ЩЖ населения в случае проектной аварии на АЭС с реактором ВВЭР-1000.

**SUMMARY**

Vladimir Drozdovitch. THYROID DOSE FORMATION FOR POPULATION OF BELARUS TO ESTIMATE THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES OF THE IODINE RELEASES AT NPPs  
*Nuclear accident, internal exposure, dose, iodine radionuclides, thyroid, radioecological model*

Modeling of internal thyroid dose formation following the accidental release of iodine radionuclides from NPPs is considered. To estimate thyroid exposure the radioecological model adapted to local conditions of Belarus has been used. The results of reconstruction of individual, average and collective thyroid doses from  $^{131}\text{I}$  for population of republic after the Chernobyl accident are presented. The comparison of model calculation and results of instrumental measurements and thyroid doses estimated from direct measurements confirm reliability of mathematical model and results obtained. Developed model approach has been used to estimate of age-dependent thyroid exposure levels following the beyond design-basis accident at NPP with reactor VVER-1000 has been made.



ДРОЗДОВИЧ Владимир Вячеславович

ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ  
НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ  
ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ РАДИОЙОДА НА АЭС

---

Подписано к печати 23.03.2000. Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 1,16.

Уч.-изд. л. 1. Тираж 90 экз. Заказ 3. Бесплатно •

---

Отпечатано на ксероксе ИПЭ НАНБ  
220109, Минск-Сосны

LA 40728



8000000 1999465