

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПАТОЛОГИИ,
ОНКОЛОГИИ И РАДИОБИОЛОГИИ им.Р.Е.КАВЕЦКОГО

На правах рукописи

БЕРКОВСКИЙ ВЛАДИМИР БОРИСОВИЧ

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА
РЕТРОСПЕКТИВНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПРОГНОЗА
ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА
(на примере аварии на Чернобыльской АЭС)

(03.00.01 радиобиология)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Киев - 1992



Работа выполнена в Украинском научном центре радиационной медицины МЗ и АН Украины.

Научные руководители: доктор физико-математических наук, профессор, руководитель отдела дозиметрии и радиационной гигиены УНЦРМ МЗ и АН Украины Лихтарев И.А. кандидат технических наук, руководитель лаборатории косвенных и расчетных методов УНЦРМ МЗ и АН Украины Репин В.С.

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, заведующий лабораторией радиозонологической надежности биосистем института клеточной биологии и генетической инженерии АН Украины Кутлахмедов Ю.А. доктор биологических наук, руководитель Центра экологических проблем атомной энергетики АН Украины при Институте ядерных исследований АН Украины Коваль Г.Н.

Ведущая организация: Санкт-Петербургский НИИ радиационной гигиены ГКСЭН России.

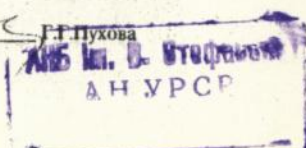
Защита состоится "26" ноября 1992 г. в 13³⁰ часов на заседании специализированного совета Д016.38.02 в Институте экспериментальной патологии, онкологии и радиобиологии им.Р.Е.Кавецкого АН Украины (252022, Киев-22, ул.Васильковская, 45).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЭПОР.

Автореферат разослан "23" октября 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного совета, к.м.н.

Лук
Г.Г. Пухова



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Сложный вид современных дозиметрических моделей, высокая степень их детализации, наличие большого количества переменных во времени параметров, необходимость расчета не только ожидаемой за жизнь дозы, но и получение всего спектра параметров, характеризующих биокинетические и физические процессы в организме существенно затрудняет, а порой делает невозможным, использование традиционных методов дозовых оценок. Многообразие ситуаций, не укладывающихся в стандартные схемы расчета приводит к необходимости создания для каждого отдельного случая самостоятельной компьютерной программы анализа ситуации. Однако, эта работа требует значительного времени, что неприемлемо в условиях радиационной аварии.

Проблема может быть решена при наличии в распоряжении специалистов гибкой специализированной операционной оболочки, вобравшей в себя известные в настоящее время модели метаболизма радионуклидов, возрастно-половую модель внутреннего облучения человека, возможности компьютерных баз данных, графические средства анализа и интерпретации.

Особое значение создание Системы поддержки дозиметрии внутреннего облучения имеет для решения задач, связанных с анализом доз внутреннего облучения в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Самостоятельную проблему составляет задача создания инструментальных средств разработки новых национальных норм радиационной безопасности, основывающихся на принципах и подходах, изложенных в публикации 60 МКРЗ. Потребность в Системе поддержки дозиметрии внутреннего облучения испытывают такие области науки и практики, как радиобиология, радиотоксикология, дозиметрия, радиационная безопасность и медицинская радиология.

Цель работы.

Разработать, научно обосновать и реализовать на базе компьютера моделирующую Систему сопровождения дозиметрии внутреннего облучения, предназначенную для ретроспективного восстановления, оценки текущих и прогноза ожидаемых доз внутреннего облучения персонала и населения. Исследовать с помощью Системы динамику формирования доз внутреннего облучения населения в результате аварии на Чернобыльской АЭС, методы ретроспективного восстановления, прогноза и контроля доз при аварии на Чернобыльской АЭС.

Основные задачи.

1. Анализ методов, моделей и программных инструментальных средств оценки доз внутреннего облучения персонала и населения. Обоснование концепции системы сопровождения дозиметрии внутреннего облучения.

2. Разработка структуры и реализация многофункциональной Системы поддержки дозиметрии внутреннего облучения. Проведение численного моделирования биокинетических процессов облучения организма лиц различного возраста.
3. Исследование динамики формирования доз внутреннего облучения населения, методов ретроспективного восстановления, прогноза и контроля доз при аварии на Чернобыльской АЭС:
 - а. Определение дозового вклада короткоживущих изотопов йода по отношению к дозе на щитовидную железу от йода-131.
 - б. Расчет динамики накопления изотопов стронция в организме человека вследствие аварии на ЧАЭС. Расчет динамики формирования дозы. Сравнение различных возраст-зависимых моделей биокинетики стронция. Обоснование выбора модели для прямых и косвенных методов дозиметрии. Исследование возможности применения косвенных методов (на основе результатов измерения скорости экскреции стронция с мочой) для контроля текущего поступления и содержания стронция в организме.
 - в. Анализ методов ретроспективного восстановления уровней ингаляционного поступления радионуклидов на ранней стадии аварии.
- г. Определение зависимости от возраста дозовых коэффициентов для изотопов цезия.

Научная новизна работы.

Новизна настоящего исследования и полученных результатов определяется тем, что впервые:

- предложена и реализована концепция компьютерной Системы поддержки дозиметрии внутреннего облучения. Моделирующее Ядро Системы базируется на разработанной автором информационной объектно-ориентированной модели организма человека, его органов и систем, подверженных внутреннему облучению за счет инкорпорированных радионуклидов;
- установлена динамика формирования доз внутреннего облучения у лиц различного возраста вследствие аварии на Чернобыльской АЭС;
- проведен сравнительный анализ возраст-зависимых моделей ретроспективного восстановления и прогноза доз внутреннего облучения;
- подготовлены методические рекомендации по оценке доз облучения населения.

Практическая значимость работы.

Разработанная автором Система поддержки дозиметрии внутреннего облучения относится к классу систем поддержки принятия решений (Decision Support System) и может быть использована для:

- получения информации о текущих и прогнозируемых дозах внутреннего облучения для принятия решения о вмешательстве в случае радиационной аварии;

- ретроспективного восстановления доз внутреннего облучения;
- прогноза доз внутреннего облучения;
- в целях штатного радиационного, экологического, и медицинского мониторинга.

Возможно применение Системы в качестве автоматизированного рабочего места специалиста в области дозиметрии внутреннего облучения. Реализация Системы на базе персонального компьютера позволяет обеспечить ее мобильность и надежность в условиях радиационной аварии.

Результаты, приведенные в работе, получены в процессе практической работы в отделе дозиметрии и радиационной гигиены УНЦРМ МЗ и АН Украины и вошли в отчетную и справочную документацию, подготовленную по запросам правительственных и общественных организаций в рамках научной тематики отдела. В настоящее время Система используется для обеспечения дозиметрической части Украинского Национального регистра и расчетов производных нормативов при подготовке проекта национальных Норм радиационной безопасности.

Апробация работы. Диссертационная работа и ее отдельные фрагменты докладывались на Всесоюзной конференции "Радиационные аспекты Чернобыльской аварии" (Обнинск, 1988), конференции молодых ученых и специалистов в Институте биофизики МЗ СССР (Москва, 1989), Всесоюзной мемориальной конференции им.Ю.И.Москалева (Москва, 1989), Международном симпозиуме ВОЗ "Эффекты на щитовидной железе в результате облучения населения при аварии на ЧАЭС" (Чернигов, 1990), Всесоюзной выставке "Информатика в здравоохранении (Москва, 1990), Республиканской научно-практической конференции "Итоги оценки последствий аварии на ЧАЭС" (Киев, 1991), конференции молодых ученых УНЦРМ МЗ Украины (Киев, 1992), межлабораторном семинаре в Институте кибернетики им. Глушкова (Киев, 1992). Материалы работы использовались при подготовке Технического доклада Международного чернобыльского проекта (Вена, 1992). Часть результатов (реализация и сравнение дозиметрических моделей стронция, реализация новой модели дыхательной системы) представленных в работе получены в рамках программы сотрудничества с Национальным институтом исследований в области охраны окружающей среды (GSF), Мюнхен. Рекламная информация о Системе опубликована мюнхенским отделением фирмы "Канберра".

На защиту выносятся следующие положения и результаты, полученные непосредственно автором:

1. Концепция и реализация Системы поддержки дозиметрии внутреннего облучения.
2. Результаты применения разработанной Системы для анализа ситуаций, связанных с аварией на ЧАЭС:

- а. Зависимость от длительности ингаляционного поступления и задержки начала поступления величины вклада короткоживущих изотопов йода в дозу на щитовидную железу и все тело при аварии на ЧАЭС.
- б. Функции динамики накопления изотопов стронция в организме человека вследствие аварии на ЧАЭС. Функции динамики формирования доз. Результаты сравнительного анализа возраст-зависимых моделей системного метаболизма изотопов стронция. Дозовые коэффициенты "ожидаемая доза при единичном однократном поступлении" стронция-89 для лиц разного возраста.
- в. Результаты ретроспективного восстановления уровней ингаляционного поступления радионуклидов на ранней стадии аварии для жителей г. Припять и г. Киев, прогнозируемые динамики формирования дозы.
- г. Зависимость от возраста дозовых коэффициентов для изотопов цезия.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 работ.

Структура работы. Диссертация представлена на 158 страницах машинописного текста, включающего 28 рисунков и 24 таблицы. Работа состоит из введения, 4 глав, выводов и списка литературы. Список литературы включает 141 источник, из которых 43 - отечественных и 98 - зарубежных. Имеется два приложения на 14 страницах, иллюстрированные 3 рисунками и 2 таблицами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходная информация. В расчетах должна использоваться вся имеющаяся в распоряжении специалиста информация:

- пути загрязнения организма;
- физические, и химические характеристики радиоактивного загрязнения окружающей среды и продуктов питания;
- результаты прямых измерений содержания радионуклидов в теле человека, отдельных органах и тканях;
- уровень загрязнения продуктов питания, почвы, воды и воздуха;
- измерения скорости фекальной и мочевой экскреции радионуклидов у отдельных лиц или групп, пострадавших при аварии.

В моделирующих расчетах должны учитываться возраст, пол пострадавших и, по возможности, модифицирующие факторы, влияющие на дозовые оценки.

Для целей дозиметрии отдельных лиц из населения и населения в целом важно использование адекватных возрастно-половых моделей структуры питания, физиологии, метаболизма и транспорта энергии ионизирующих излучений в организме. Желателен учет механизмов очищения окружающей среды и рациона вследствие естественных процессов и принимаемых защитных мер.

Дозиметрические модели. Штатная и аварийная дозиметрия должна основываться на математических моделях, рекомендованных Международной или Национальной комиссией по радиологической защите.

Результаты расчетов:

- динамика содержания радионуклидов в отдельных органах и тканях,
- мощность дозы и накопленная в органах и тканях доза,
- динамика формирования эффективной дозы,
- скорости мочевой и фекальной экскреции

должны быть доступны для анализа и интерпретации в графическом и цифровом виде и, в случае необходимости, сохранены в специализированной базе данных.

Требования к структуре и возможностям Системы. Перечисленный выше спектр возможной исходной информации и условия, накладываемые на расчет требуют использования гибкой программной среды, позволяющей оперировать с большими массивами неоднородных данных. Прежде всего, в ней необходимы средства для выполнения моделирующих дозиметрических расчетов динамики транспортно-метаболических процессов в организме.

В системе поддержки дозиметрии должны быть предусмотрены средства для ведения большого количества служебных баз данных, электронных таблиц и текстовых документов, содержащих всю разнообразную информацию, которой обладает специалист на момент анализа.

Аппаратные средства. Исходя из вышесказанного, было принято решение реализовать Систему поддержки дозиметрии внутреннего облучения в виде полностью автономного программного продукта, работающего на IBM-совместимых персональных компьютерах.

Разработка системы проводилась на персональных компьютерах IBM PS/2 моделей 60, 80. Система может быть перенесена на любой персональный компьютер, работающий с операционной системой MS-DOS версии 3.3 и выше, фирмы Microsoft Corp. и имеющий: оперативную память 640 К; математический сопроцессор 80x87; графические видеоадаптеры VGA или IBM 8514/а; устройство ввода "мышь"; накопитель на ЖМД емкостью не менее 20 Мбайт.

Программные средства. Для эффективной работы специалиста в области дозиметрии внутреннего облучения, требуются средства для оперирования разнородной, зачастую противоречивой, исходной информацией, а так же для управления математическими моделями поведения радионуклидов в окружающей среде и организме человека.

Принимая во внимание сложность структуры исходной информации и повышенные требования к структурированности программы и данных, было принято решение реализовать расчетную моделирующую часть системы (в дальнейшем Ядро

Системы) на объектно-ориентированном языке Turbo Pascal фирмы Borland International.

Математический аппарат. Математические модели метаболизма представлены в Системе либо в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка с переменными коэффициентами вида

$$\frac{dQ(t)}{dt} = K(t)Q + f(t) \quad (1)$$

где Q - вектор-столбец концентраций q_j ($i = 1..c$),

c - обобщенное число камер,

$K(t)$ - транспортная матрица системы, с элементами, зависящими от времени,

$f(t)$ - вектор-столбец функций влияния.

Либо в виде системы интегро-дифференциальных уравнений (так же с переменными коэффициентами). Уравнения описывают динамику содержания радионуклида в отдельных органах и тканях организма. Моделирование в Системе ведется путем решения системы дифференциальных уравнений первого порядка с переменными (зависящими от возраста) коэффициентами. Возможно использование альтернативного метода - численное решение интегральной формы системы уравнений:

$$Q(t) = \Phi(t, t_0)Q(t_0) + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau)f(\tau)d\tau \quad (2)$$

где Q - вектор-столбец концентраций q_j ($i = 1..c$),

c - обобщенное число камер,

$\Phi(t, t_0) = \exp \int_{t_0}^t K(\tau)d\tau$ - переходная матрица состояний биокинетической системы,

$K(\tau)$ - транспортная матрица системы, $f(t)$ - вектор-столбец функций влияния.

Используются алгоритмы с адаптивным изменением шага интегрирования, поддерживающие заданную точность решения на шаге и реализующие методы борьбы с "жесткостью" систем уравнений.

Среднее значение эквивалентной дозы к моменту времени t , формируемое излучением тканей-источников S в ткани-мишени T :

$$H(t) = \sum_{j,s} \int_{t_0}^t SEE(T-S; \tau)_j Q_{j,s}(\tau) d\tau, [Зв] \quad (3)$$

где суммирование ведется по тканям-источникам $S = 1..44$ и радионуклидам j ,

SEE(T-S;t) - зависящая от возраста удельная эффективная энергия (Specific Effective Energy), выраженная в [Зв/распад] и рассчитываемая следующим образом:

$$SEE(T-S;t) = 1.6 \times 10^{-13} \sum_R \frac{Y_R E_R W_R AF(T-S;t)_R}{m_T(t)}, [\text{Зв}] \quad (4)$$

где R - тип излучения,

Y_R - выход излучения типа R на один распад,

E_R - энергия излучения, МэВ,

W_R - взвешивающий фактор излучения,

$AF(T-S;t)_R$ - средняя фракция поглощенной тканью T энергии излучения типа R,

m_T - масса (кг) ткани-мишени T.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Концепция и реализация Системы. В результате анализа задач, стоящих перед экспертами в области дозиметрии внутреннего облучения, текущего состояния программных средств дозиметрии, в работе предложена и реализована концепция компьютерной Системы поддержки дозиметрии внутреннего облучения.

Концепция подразумевает создание на базе персонального компьютера многофункциональной интегрированной программно-методической среды, обеспечивающей выполнение всего комплекса процедур обработки информации, необходимого для ретроспективного восстановления и прогноза динамики формирования доз внутреннего облучения персонала и населения:

- сбор и обработку потоков разнородной первичной дозиметрической информации для моделирующих расчетов;
- проведение численных экспериментов, моделирующих внутреннее облучение человека как в результате радиационной аварии, так и при нормальных условиях;
- накопление результатов моделирования, их анализ и обобщение с целью дальнейшего использования при реконструкции доз внутреннего облучения и прогнозе динамики формирования доз.

Концепция включает принцип использования объектно-ориентированного подхода в построении информационной модели процессов внутреннего облучения, гибкость и открытость Системы.

Результаты применения Системы.

Разработанная Система была использована нами для анализа методических проблем, связанных с ретроспективным восстановлением и прогнозом динамики формирования доз внутреннего облучения населения в результате аварии на ЧАЭС.

При рассмотрении раннего этапа аварии прежде всего, следует отметить роль изотопов йода. Наиболее опасным среди них является йод-131.

После аварии был получен обширный массив результатов прямых измерений содержания ^{131}I в щитовидной железе. Однако, вследствие того, что массовые измерения щитовидной железы начались спустя несколько суток после взрыва, в распоряжении специалистов практически отсутствуют данные прямых измерений содержания в щитовидной железе короткоживущих изотопов йода. Поэтому, для корректной дозиметрии требовалось оценить их вклад в дозу. С проблемой короткоживущих изотопов йода связан радиоактивный теллур-132.

Относительный вклад короткоживущих изотопов йода в дозу на щитовидную железу

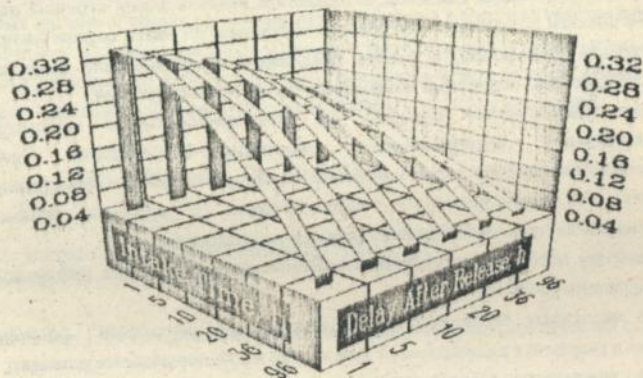


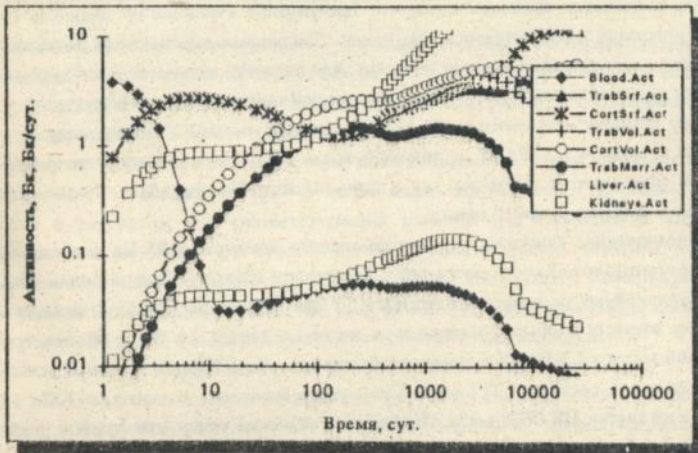
Рис. 1

Для большинства жителей 30-км зоны радионуклиды йода поступали в основном ингаляционным путем. В расчетах исходное соотношение между изотопами было принято равным соотношению этих изотопов в реакторе РБМК-1000 с кампанией 1100 суток. Уровень поступления изменялся в соответствии с распадом изотопов йода и накоплением в окружающей среде дочернего ^{132}I . С использованием Системы были получены зависимости (от длительности контакта с радиоактивным облаком и момента начала поступления) вкладов отдельных изотопов йода в дозу на щитовидную железу. Наибольший дозовый вклад среди прочих изотопов йода, имеет ^{133}I - до 30% дозы от ^{131}I при длительности контакта порядка 1 часа. Следующим

по значению является ^{135}I - до 5%, при той же длительности поступления (рис.1). В реальной ситуации такие высокие вклады характерны лишь для ограниченной группы лиц, оказавшихся в момент аварии непосредственно на территории ЧАЭС и покинувших зону поражения через несколько часов. Для населенных пунктов характерная величина вклада была порядка 10% (при длительности контакта до 6 суток и задержке начала поступления до 12 часов).

В итоге можно отметить, что коррекцию доз облучения щитовидной железы необходимо проводить для тех населенных пунктов 30-километровой зоны, в которых повышение гамма-фона началось в первые сутки после аварии, а отселение было произведено в сроки, исчисляемые днями. При длительности поступления больше нескольких дней, основная дозовая нагрузка определяется йодом-131. Вкладом остальных изотопов йода можно пренебречь.

Динамика удержания плутония-239 в организме новорожденного ребенка после ингаляционного поступления



Условия моделирования: Длительность ингаляционного поступления плутония-239 - 1 час. Суммарная активность вдыхаемого воздуха - 1кБк. Аэрозоль легочного класса Y, АМАД - 1 мкм. На рисунке: Blood.Act - активность изотопа в крови, TrabSrf.Act - содержание на поверхности трабекулярной кости, CortSrf.Act - содержание на поверхности кортикальной кости, TrabVol.Act - содержание в объеме трабекулярной кости, CortVol.Act - содержание в объеме кортикальной кости, TrabMarr.Act - содержание в поверхностном слое трабекулярной кости, Liver.Act - содержание в печени, Kidneys.Act - содержание в почках.

Рис. 2

Ингаляционное поступление трансураниевых радионуклидов, на ранней фазе аварии влекло за собой значимые дозы на органы. В работе показан квазилинейный характер формирования дозы от нетранспортабельных соединений долгоживущих радионуклидов трансураниевого ряда. Показано, что максимальная доза от плутония-239 формируется на клетках поверхности кости (ПК) составляя для новорожденного ребенка в среднем 14 мкЗв/год на 1 Бк начального поступления. Далее следует печень 5 мкЗв/год, клетки красного костного мозга (ККМ) - 1.3 мкЗв/год и гонады - 0.3 мкЗв/год. На рис.2 приведены результаты компьютерного моделирования динамики удержания плутония-239 в организме новорожденного ребенка.

Особое место среди факторов внутреннего облучения занимают стронций-89 и стронций-90. Принимая во внимание особенность рациона детей первых лет жизни - значительные уровни потребления коровьего молока и молочных продуктов, на наш взгляд дозовые оценки необходимо производить именно для этой критической, по отношению к дозам и эффектам, группы населения.

С использованием Системы было проведено моделирование облучения тканей детского организма изотопами стронция в реальных условиях после Чернобыльской аварии. В расчетах предполагалось, что поступление стронция-90 началось сразу после рождения и продолжалось всю жизнь. Основными источниками поступления стронция являются вода, молоко и овощи. Для расчетов использовалось приближение, когда вся активность, поступающая с пищей присваивается "эффективному суточному рациону", состоящему из воды, молока и овощей. Уровень загрязнения молока и овощей - 1 Бк/кг, а питьевой воды - 0.25 Бк/л. Функция потребления овощей принимается такой же, как и функция потребления воды. Период очищения рациона равен 10 годам.

Моделирование показало, что максимального значения в 95 Бк содержание в объеме кортикальной кости достигает к 17-летнему возрасту. Содержание в объеме трабекулярной кости вплоть до возраста 17 лет в среднем в 4 раза ниже, к 70-летнему возрасту в объеме кортикальной кости находится 14 Бк, а объеме трабекулярной кости - 1.2 Бк. Ожидаемая эффективная доза (ЭД) при заданных условиях моделирования составила 217 мкЗв. Ожидаемая эквивалентная доза на ККМ 1470 мкЗв, а на клетки ПК 3600 мкЗв. Наибольшее значение мощности годовой дозы 18 мкЗв/год наблюдается при возрасте около 2 лет, минимум мощности годовой дозы приходится на 15-летний возраст, что связано с перестройкой скелета.

Одной из важных задач в проблеме нормирования послеварийного облучения населения является расчет мощности годовой дозы, формируемой в текущем году. Такие расчеты были проделаны нами. В табл.1 представлены вклады в дозу 1991 года поступления стронция-90 в течение предыдущих лет. Таблица 1 может быть

использована для расчета полного значения мощности ЭД на конец 1991 года для произвольной функции поступления стронция в 1986-1991-гг.

Таблица 1.

Мощность ЭД, сформированная к концу 1991 года стронцием-90, поступающим перорально 1 Бк/сут в течение 1 года в различные сроки после аварии на ЧАЭС

Год поступления	Мощность ЭД, мкЗв/(Бк*сут)	
	Дети, рожденные в 1886 году	Взрослые
1986	6.2	.87
1987	6.2	.99
1988	6.2	1.20
1989	5.8	1.42
1990	5.5	1.79
1991	10.2	4.02

Стронций-89 играл заметную дозообразующую роль лишь на первом году после аварии. В отличие от стронция-90, для стронций-89 до настоящего времени не были известны дозовые коэффициенты "доза на единицу перорального поступления" для лиц разного возраста. В работе приводятся их значения.

Кроме того, были проведены расчеты, аналогичные описанным выше расчетам для стронция-90. Начальные уровни загрязнения "эффективного рациона" были взяты в 6 раз выше, чем соответствующие значения для стронция-90. Период полураспада рациона - 50 суток. При этом максимального значения 19 Бк содержание в объеме кортикальной кости достигает к 100 суткам с момента начала поступления. Ожидаемая эквивалентная доза на ККМ 33 мкЗв, а на ПК 32 мкЗв для новорожденных детей, 4 мкЗв и 3.3 мкЗв соответственно для взрослых.

Сравнение возраст-зависимых дозиметрических моделей стронция

На данный момент известно несколько возраст-зависимых моделей метаболизма стронция. В работе рассмотрены и проанализированы модели М.Дегтевой, Публикации 56 МКРЗ (МКРЗ-56) и модель Рабочей Группы МКРЗ (МКРЗ-56В). Показано, что модели МКРЗ-56 и МКРЗ-56В дают хорошо совпадающие результаты для динамики накопления и выведения стронция из костных структур. Однако, моделирование содержания стронция в крови и его выведения с мочой показало, что использование более детальной модели МКРЗ-56В позволяет получить существенно уточненные значения этих параметров.

Исследование возможности контроля за поступлением и содержанием
стронция-90 в организме косвенными методами

Прямое (in vivo) измерение содержания стронция-90 в организме практически невозможно. Существует необходимость исследования возможности контроля за поступлением и содержанием стронция-90 в организме косвенными методами. Для этих целей была использована разработанная Система.

Проведенные расчеты показали, что при хроническом поступлении стронция-90 с пищей в реальных условиях территорий, загрязненных после аварии на ЧАЭС, у детей уровень мочевой экскреции составляет 10-20% потока входной активности, а у взрослых - 2-10%. При абсолютных значениях входного потока активности 0.1-10 Бк/сут. измерение активности стронция-90 в моче вполне возможно с использованием как методов бета-спектрометрии, так и радиохимических методов в сочетании с радиометрией. Такая работа ведется в настоящее время в отделе дозиметрии и радиационной гигиены УНЦРМ МЗ и АН Украины.

Разработанная Система была применена для анализа возможности использования результатов измерения содержания стронция-90 в моче с целью контроля его содержания в костных структурах. В условиях хронического поступления скорость экскреции стронция с мочой практически полностью определяется входным потоком изотопа. Расчеты показали, что при хроническом поступлении стронция с начальным темпом 1 Бк/сут. и периоде полураспада 10 лет, его содержание в скелете взрослого человека спустя 10 лет после начала поступления будет 45 Бк а скорость мочевой экскреции - 6×10^{-2} Бк/сут. При этом активность, выносимая в мочу непосредственно из скелета составляет порядка 10^{-2} Бк/сут. Таким образом, возникает проблема измерения сверхнизких содержаний изотопа на фоне существенного транзитного потока. Применение "чистой диеты" (например, при госпитализации) с целью исключить влияние входного потока, не эффективно. Это связано с наличием глобального стронция на уровне 10^{-2} Бк/сут. в практически любом "чистом рационе". Таким образом, использование косвенно-дозиметрических методов для контроля содержания стронция-90 в скелете человека в реальных условиях загрязненных территорий не представляется возможным. Единственным приемлемым способом такого контроля, на наш взгляд, является измерение образцов костей. Разработанная Система и полученные в работе зависимости могут использоваться для интерпретации таких данных.

Следует отметить, что полученная динамика содержания изотопов стронция в тканях организма доказывает несостоятельность попыток использовать для выведения изотопов стронция такой радикальный способ "очистки" организма, как гемосорбция.

Следующие важные дозообразующие радионуклиды - цезий-134, цезий-137. Расчет доз внутреннего облучения от этих изотопов относительно прост, ввиду простоты детектирования их наличия в окружающей среде, продуктах питания и человеке. В настоящей работе рассчитана зависимость дозовых коэффициентов изотопов цезия от возраста человека. Показано, что изменение геометрии облучения у детей уменьшает фракцию поглощенной энергии ^{137}Cs не более чем на 13% вплоть до возраста 1 год. Для ^{134}Cs , в силу большего вклада гамма-компоненты в суммарную дозу, это уменьшение не превышает 24%, и составляет 37% для новорожденных. Полученная зависимость используется в УНЦРМ МЗ Украины при расчете доз облучения на основании измерений на СИЧ.

ВЫВОДЫ

Все изложенные в работе материалы и полученные результаты могут быть собщены в форме следующих основных выводов.

1. Предложена концепция Системы поддержки дозиметрии внутреннего облучения.

Концепция подразумевает создание на базе персонального компьютера интегрированной программно-методической среды, обеспечивающей:

- сбор, накопление и обработку потоков разнородной первичной дозиметрической информации для моделирующих расчетов;
- проведение численных экспериментов, моделирующих внутреннее облучение человека как в результате радиационной аварии, так и при нормальных условиях;
- накопление результатов моделирования, их анализ и обобщение с целью дальнейшего использования при реконструкции доз внутреннего облучения и прогнозе динамики формирования доз.

Концепция включает принцип использования объектно-ориентированного подхода в построении информационной модели процессов внутреннего облучения, гибкость и открытость.

3. С использованием Системы проведено моделирование биокинетики основных радиационно-значимых радионуклидов в барьерных и системных органах людей различного возраста. Выполнена ревизия новейших дозиметрических моделей, разрабатываемых Рабочими Группами МКРЗ. Получены дозовые коэффициенты "ожидаемая доза при единичном однократном поступлении" стронция-89 для лиц разного возраста. Самостоятельную ценность представляют сформированные в процессе создания Системы библиотеки зависящих от возраста удельных эффективных энергий и библиотеки физико-химических характеристик важнейших радионуклидов.

4. Анализ ситуаций, связанных с аварией на ЧАЭС, выполненный с помощью Системы, позволил получить следующие научные результаты:
- Максимальный относительный вклад короткоживущих изотопов йода в дозу на щитовидную железу после аварии на ЧАЭС составил 35%, по отношению к дозе от йода-131. При этом вклад йода-133 составил 30%.
 - Оценены уровни ингаляционного поступления радионуклидов и дозы на начальном этапе аварии на ЧАЭС. Верхний предел ожидаемых доз внутреннего облучения жителей г.Припять в терминах ЭЭД составил 3 сЗв. Для жителей г.Киев ожидаемая доза за счет ингаляционного поступления на начальном этапе аварии не превышала 0.005 сЗв (взрослые), и 0.014 сЗв (новорожденные). Установлен квазилинейный характер формирования дозы от нетранспортабельных соединений долгоживущих изотопов трансуранового ряда.
 - Получена динамика формирования дозы от изотопов стронция в результате аварии на ЧАЭС. Выделена критическая группа населения - дети первых лет жизни. Установлено, что, максимальная ожидаемая эффективная доза от стронция-90 для этой группы составит 217 мкЗв при уровне загрязнения молока и овощей - 1 Бк/кг, а питьевой воды - 0.25 Бк/л. Определены границы применимости косвенных методов дозиметрии стронция-90. Показана возможность их использования для контроля текущего поступления изотопа у отдельных лиц из населения. Применение косвенных методов для ретроспективного восстановления уровней поступления и контроля текущего содержания стронция в скелете существенно затруднено, ввиду высоких требований к чистоте рациона обследуемых.
 - Рассчитаны возраст-зависимые дозовые коэффициенты для цезия-134 и цезия-137. Показано, что изменение геометрии облучения у детей уменьшает фракцию поглощенной энергии ^{137}Cs не более чем на 13% вплоть до возраста 1 год. Для ^{134}Cs это уменьшение не превышает 24%, и составляет 37% для новорожденных.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Радиационная обстановка в ПГТ Полесское на сентябрь 1987 г./ В.Б.Берковский, М.Г.Бузынный, Е.К.Гаргер, А.В.Зеленский, И.Ю.Комариков, Д.А.Лазарь, С.Ю.Нечаев, С.И.Табачников//Мат. Респ. науч. конф. "Мед. проблемы радиационной защиты" 15-17 дек. 1987 г. - Киев, 1987.-С.3-5.
2. Структура и программная реализация базы данных по медицинской радиологии на основе микро-ЭВМ "Искра-226"/И.А.Лихтарев, Л.Н.Ковган, В.Б.Берковский, Е.П.Зайцева, И.В.Сметанина//Мед. проблемы радиац. защиты: Мат. Респ. науч. конф. Киев, 1987.-С.42-47.

3. Репин В.С., Чумак В.В., Берковский В.Б. Восстановление индивидуальных доз облучения у эвакуированного населения//Мат. Всесоюз. науч. конф. "Радиационные аспекты Чернобыльской аварии". Обнинск 22-25 июня 1988 г.- М., 1988- С.11-12.
4. Репин В.С., Берковский В.Б., Чумак В.В. Сравнительный анализ вариантов реконструкции индивидуальных доз эвакуированного населения//Проблемы радиационной медицины.-Киев, 1989.-Вып.2.-С.39-49.
5. Проблема ретроспективного определения оценки доз облучения легких, желудочно-кишечного тракта и щитовидной железы у эвакуированного населения/В.С.Репин, В.Б.Берковский, И.А.Кайро, Л.Н.Ковган, В.В.Чумак, Н.К.Шандала, Г.М.Гулько//Актуаль. вопросы дозиметрии внутреннего облучения:Тез.док.совещ., Гомель, 20-21 сент. 1990 г.-М., 1989.-С.22.
6. Диагностика содержания стронция-90 в объектах окружающей среды украинско-беларусского Полесья после аварии на ЧАЭС/И.А.Лихтарев, И.А.Кайро, Н.К.Шандала, И.П.Лось, В.С.Репин, Г.М.Гулько, Н.И.Чепурной, В.Б.Берковский, Н.Я.Цыганков//Биол. и радиозкол. аспекты последствий аварии на Чернобыльской атом. станции: Тез. докл. 1 Междунар. конф., Зеленый мкс, 10-18 сент. 1990 г.- М., 1990.-С.246.
7. Methodology and Practice of Long-Term Epidemiological and Dosimetric Investigations of Risk Of Late Effects Of Thyroid Irradiation in Children as a Result of the Chernobyl Accident/Lichtarev I.A., Shandala N.K., Gulko G.M., Kairo I.A., Repin V.S., Chepurnoy N.I., Berkovski V.B. //Symposium on the Effects on the Thyroid of Exposed Populations Following The Chernobyl Accident. Chernikov, 3-6 December 1990.
8. Лихтарев И.А. Кайро И.А., Берковский В.Б. Ожидаемые дозы облучения критической субпопуляции населения украинского Полесья от стронция-90//Итоги оценки мед. последствий аварии на Чернобыльской АЭС: Тез. докл. Респ. науч.-практич. конф. Киев, 1991. С.132-133.
9. Дозообразующие факторы внешнего и внутреннего облучения на различных этапах аварии на Чернобыльской АЭС/В.С.Репин, В.В.Чумак, В.Б.Берковский, С.Ю.Нечаев// Информ.бюлл. "Медицинские последствия аварии на ЧАЭС". ВНИЦРМ АМН СССР. -Киев, 1991.-С.92-100.
10. Репин В.С., Берковский В.Б., Пархотик Д.И. Система формализованной аварийной оценки и прогноза доз внутреннего облучения персонала и населения//Сборник "Проблемы радиационной медицины."-Киев, 1991. -Вып.3- С.125-130.
11. Международный Чернобыльский проект. Технический доклад. Оценка радиологических последствий и защитных мер - Вена, 1992.- 740 с.

ANS INC. D. BYRON
24 YBC

469395

AB 26.011

1950