МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ
И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Том 5

Москва
2005

gost.e-ecolog.ru

Содержание

Дозиметрический контроль внутреннего облучения персонала предприятий ОАО «ТВЭЛ». Регламент 2 6 1 05-2003 3

Регламент дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала Атомных Станций Общие требования
Методические указания по контролю МУК 2 6.1.09-03 41

Объемная активность радионуклидов в воздухе на рабочих местах. Требования к определению величины среднегодовой активности.
Методические указания МУ 2.6 1.44-2002 57

Определение поступления радионуклидов и индивидуальной эффективной дозы облучения по результатам измерений на СИЧ содержания радионуклидов в теле человека для персонала Атомных Станций
Методика выполнения расчетов МВР 2 6 1 50-01 75

Расчет ожидаемых эффективных доз внутреннего облучения персонала по результатам измерений активности радионуклидов в биопробах с использованием компьютерной программы ММК-01
Методика выполнения расчетов МВР 2 6 1 60-2002 93

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ
И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ

2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность

РАСЧЕТ ОЖИДАЕМЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ В БИОПРОБАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ММК-01

Методика выполнения расчетов
МВР 2.6.1.60-2002

Издание официальное

Содержание

1. Назначение и область применения 104
2. Нормативные ссылки 105
3. Термины, определения и условные обозначения 105
3.1 Термины и определения 105
3.2 Условные обозначения и определения 107
4. Общие положения 107
5. Алгоритм расчета поступления и ОЭД и оценка их погрешности 109
6. Оформление результата расчета индивидуальной дозы 110
7. Библиографические данные 110
8. Приложения 112
8.1 Приложение 1. Работа с программой ММК-01 112
8.2 Приложение 2 116
8.3 Приложение 3. Пример расчета индивидуального поступления радионуклида и ОЭД 147
8.4 Приложение 4. (Обязательное) Список исполнителей 151

Предисловие

1. Методика выполнения расчетов МВР 2.6.1.60-2002 «Расчет ожидаемых эффективных доз внутреннего облучения персонала по результатам измерений активности радионуклидов в биопробах с использованием компьютерной программы ММК-01» разработаны авторским коллективом специалистов.

Исполнители: к.т.н. Молоканов А.А. (ГНЦ-ИБФ),
к.м.н. Антипин Е.Б. (ФУ «Медбиоэкстрем»),
д.т. н. Бадьин В.И (БФАИИЧ ГЦ ГСЭН),
к.ф-м.н. Крючков В.П. (ГНЦ - ИБФ),
зав. лаб. Цовьянов А.Г. (ГНЦ - ИБФ),
к.т.н. Ермилов А.П (ЦМИИ ГП ВНИИФТРИ),
к.т.н. Антропов С.Ю (ЦМИИ ГП ВНИИФТРИ).

2. Утверждены и введены в действие Федеральным управлением медико-биологических и экстремальных проблем (Федеральное Управление «Медбиоэкстрем») при Минздраве России 4 ноября 2002 г.

3. В настоящих методических указаниях реализованы требования законов Российской Федерации:
«О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» ФЗ-52 от 30.03.1999 г.;
«О радиационной безопасности населения» ФЗ-3 от 09.01.1996 г.;
«Об использовании атомной энергии» ФЗ-170 от 21.11.1995 г.;
«Об обеспечении единства измерений» 487-1 от 27.04.1993 г.;
«Об информации, информатизации и защите информации» ФЗ-24 от 20.02.1995 г.;
«Об обеспечении единства измерений» N 4871-1 от 27.04.1993 г.;
«О стандартизации» N 5154-1 от 10.06.1993 г.

4. Введены впервые.

Согласованы с Директором Центра метрологии ионизирующих излучений ГП «ВНИИФТРИ» В.П.Ярыной 18 мая 2001 г.

Утверждены Заместителем Главного государственного санитарного врача по объектам и территориям, обслуживаемым Федеральным управлением «Медбиоэкстрем» О.И.Шамовым 04 ноября 2002 г.

2.6.1. Ионизирующее излучение. Радиационная безопасность

РАСЧЕТ ОЖИДАЕМЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ В БИОПРОБАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ММК-01

Методика выполнения расчетов
МВР 2.6.1.60-2002

Дата введения - с момента утверждения
Издание официальное

© Федеральное управление медико-биологических и экстремальных проблем при Министерстве здравоохранения Российской Федерации (Федеральное Управление «Медбиоэкстрем»)

Настоящая Методика выполнения расчетов не может быть полностью или частично воспроизведена, тиражирована и распространена без разрешения Федерального Управления медико-биологических и экстремальных проблем при Министерстве здравоохранения Российской Федерации и концерна «Росэнергоатом» Министерства Российской Федерации по атомной энергии

1. Назначение и область применения

1.1. Методика выполнения расчетов (далее МВР) совместно с компьютерной программой ММК-01 (далее ММК-01) предназначена для обеспечения требований Норм радиационной безопасности (НРБ-99, п.7) и последующих Методических указаний (МУ 2.6.1.16-2000 и МУ 2.6.1.26-2000) к контролю уровней облучения персонала от источников внутреннего облучения.

1.2. Данная МВР совместно с ММК-01 обеспечивает определение индивидуальных ожидаемых эффективных доз (ОЭД) внутреннего облучения персонала на основе измерений, проведенных в рамках индивидуального дозиметрического контроля (ИДК).

1.3. Областью применения данной МВР является расчет индивидуальных ОЭД, обусловленных ингаляционным поступлением в организм радионуклидов в стандартных условиях облучения, в котором в качестве исходных данных используются результаты индивидуальных измерений активности радионуклидов (^{3}H, ^{59}Fe, ^{57}Co, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{85}Sr, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{106}Ru, ^{125}I, ^{129}I, ^{131}I, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{226}Ra, ^{228}Ra, ^{228}Th, ^{232}Th, ^{234}U, ^{235}U, ^{238}U, ^{237}Np, ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Am, ^{242}Cm, ^{244}Cm, ^{252}Cf) в биопробах (моча, кал) человека.

1.4. ММК-01 на основе результатов измерений активностей из рабочей базы данных программно-аппаратурного комплекса «Прогресс» или из собственной базы данных проводит

расчеты индивидуальных ожидаемых эффективных доз облучения работников за любой календарный год и выдает информацию по уровню внутреннего облучения работника в виде протокола и графических иллюстраций.

2. Нормативные ссылки

2.1. В настоящих Методических указаниях использованы основные положения следующих руководящих документов:

- СП-2.6.1.758-99. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Гигиенические нормативы. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999.
- МУ 2.6.1.16-2000. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования.
- МУ 2.6.1.26-2000. Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения. Общие требования.

3. Термины, определения и условные обозначения

3.1 Термины и определения.

Аэрозоль - дисперсная система с газообразной средой и с твердой, жидкой или смешанной дисперсной фазой.

Аэрозоль радиоактивный - аэрозоль, в дисперсную фазу которого входят радионуклиды.

Аэродинамический диаметр частицы аэрозоля - это диаметр частицы с плотностью, равной 1 г/см^3, имеющей ту же конечную скорость оседания в воздухе при нормальных условиях, что и данная частица.

Активностный медианный аэродинамический диаметр (AMAD) - такое значение аэродинамического диаметра частиц дисперсной фазы радиоактивного аэрозоля, при котором 50 % активности указанного аэрозоля приходится на частицы, имеющие диаметр меньше, чем AMAD, а 50 % - на частицы, имеющие аэродинамический диаметр больше, чем AMAD.

Доза индивидуальная эффективная (эквивалентная в органе или ткани) - эффективная доза (эквивалентная доза в органе или ткани), которая была бы получена стандартным работником, если бы он находился в тех же производственных условиях и выполнял те же работы с источником, что и данный индивид. Значение индивидуальной дозы приписывается индивиду по результатам дозиметрического контроля.

Доза эффективная ожидаемая при внутреннем облучении ($E(\tau)$) - величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий внутреннего облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений ожидаемой эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E(\tau) = \sum_{T} W_T \times H_T(\tau). \qquad (5)$$

Значение τ принимают для персонала равным 50 лет. Единица ожидаемой эффективной дозы - зиверт (Зв).

Доза эффективная (эквивалентная) годовая - сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год. Единица годовой эффективной дозы - зиверт (Зв).

Контроль дозиметрический индивидуальный (ИДК) - контроль облучения персонала, заключающийся в определении индивидуальных доз облучения работника на основании результатов индивидуальных измерений характеристик облучения тела или отдельных органов каждого работника.

Облучение внутреннее - облучение органов и тканей человека в результате поступления радионуклидов в организм человека.

Период контроля - промежуток времени между последовательными индивидуальными измерениями характеристик облучения каждого работника при проведении ИДК.

Поступление радионуклида ингаляционное - активность радионуклида, которая проникает в организм через органы дыхания.

Работник стандартный - воображаемый человек, обладающий биологическими и физическими свойствами, присущими среднестатистическому здоровому взрослому человеку. Свойства стандартного работника включают:

- антропометрические характеристики тела, отдельных органов и тканей человека;
- характеристики физиологических показателей человека;
- параметры биокинетики химических элементов в органах и тканях человека, рекомендованные МКРЗ и использованные при определении значений допустимых уровней облучения, установленных в Нормах.

Стандартная модель - модель определения индивидуальных доз, используемая в рамках индивидуального дозиметрического контроля и включающая:

- определение индивидуальных доз облучения по результатам индивидуальных систематических измерений характеристик облучения работника;
- распространение на объект контроля стандартных условий облучения.

Специальная модель - модель определения индивидуальных доз, используемая в рамках индивидуального дозиметрического контроля при определенных условиях ($E(\tau) > У_Д$) и включающая:

- определение индивидуальных доз облучения по результатам индивидуальных систематических измерений характеристик облучения работника;
- учет реальных условий облучения при интерпретации результатов индивидуальных систематических измерений характеристик облучения работника.

Тип химического соединения при ингаляции - категория дисперсной фазы радиоактивного аэрозоля в классификации по скорости перехода радионуклида из легких в кровь, установленной в дозиметрической модели органов дыхания МКРЗ:

- тип «М» (медленно растворимые соединения): при растворении в легких человека веществ, отнесенных к этому типу, наблюдается компонента активности радионуклида, поступающая в кровь со скоростью 0,0001 $сут^{-1}$;
- тип «П» (соединения, растворимые с промежуточной скоростью): при растворении в легких человека веществ, отнесенных к этому типу, основная активность радионуклида поступает в кровь со скоростью 0,005 $сут^{-1}$;
- тип «Б» (быстро растворимые соединения): при растворении в легких человека веществ, отнесенных к этому типу, основная активность радионуклида поступает в кровь со скоростью 100 $сут^{-1}$.

Уровень введения индивидуального дозиметрического контроля ($У_{ВК}$) - такое значение годовой эффективной (ожидаемой) дозы, при действительном или предполагаемом превышении которого определение соответствующих доз следует проводить с помощью индивидуального дозиметрического контроля облучения работника.

Уровень действия ($У_Д$) - такое значение дозы, при действительном или предполагаемом превышении которого следует провести мероприятия по улучшению радиационной обстановки на рабочем месте, а при расчете дозы следует применять специальную модель определения индивидуальных доз.

Уровень исследования ($У_И$) - такое значение дозы, полученной в течение периода контроля, при превышении которого следует провести исследование причин повышения дозы и при необходимости провести мероприятия по улучшению радиационной обстановки на рабочем месте.

Условия облучения стандартные - определенные в Нормах для целей нормирования техногенного облучения условия воздействия техногенных источников на человека, которые характеризуются следующими параметрами:

- объемом вдыхаемого воздуха, с которым радионуклид может поступить в органы дыхания персонала группы А на протяжение календарного года: $V_{ПЕРС} = 2{,}4 \cdot 10^3$ $м^3$;
- классификацией дисперсной фазы радиоактивного аэрозоля по скорости перехода

радионуклида из легких в кровь согласно п. 8.3 Норм. Распределение химических соединений элементов по типам при ингаляции приведено в приложении П-3 к Нормам;

• логарифмически нормальным распределением активности по размерам частиц дисперсной фазы аэрозоля с активностным медианным аэродинамическим диаметром (АМАД), равным 1 мкм и стандартным геометрическим отклонением, равным 2,5.

Функция выведения радионуклида - функция, описывающая активность в суточном количестве мочи или кала человека, в зависимости от времени, прошедшем после однократного единичного поступления радионуклида в организм.

3.2. Условные обозначения и определения.

t_i - дата i-го измерения активности радионуклида; (t_{i-1}–t_i) - i-й период контроля;

A_i - активность радионуклида в суточном количестве мочи или кала человека, измеренная в момент времени t_i;

ΔA_i - абсолютная погрешность измерения активности радионуклида в суточном количестве мочи или кала человека;

E_i - ожидаемая эффективная доза (ОЭД) на момент времени t_i;

$П_i$ - суммарное ингаляционное поступление радионуклида на момент времени t_i;

$I_j(t)$ - случайная функция поступления радионуклида за j-ый период контроля (скорость ингаляционного поступления радионуклида в момент времени t, Бк/с);

$R(t)$ - функция выведения радионуклида из организма человека для рассматриваемых условий облучения;

ε_R - дозовый коэффициент перехода от поступления радионуклида к ОЭД для рассматриваемых условий облучения;

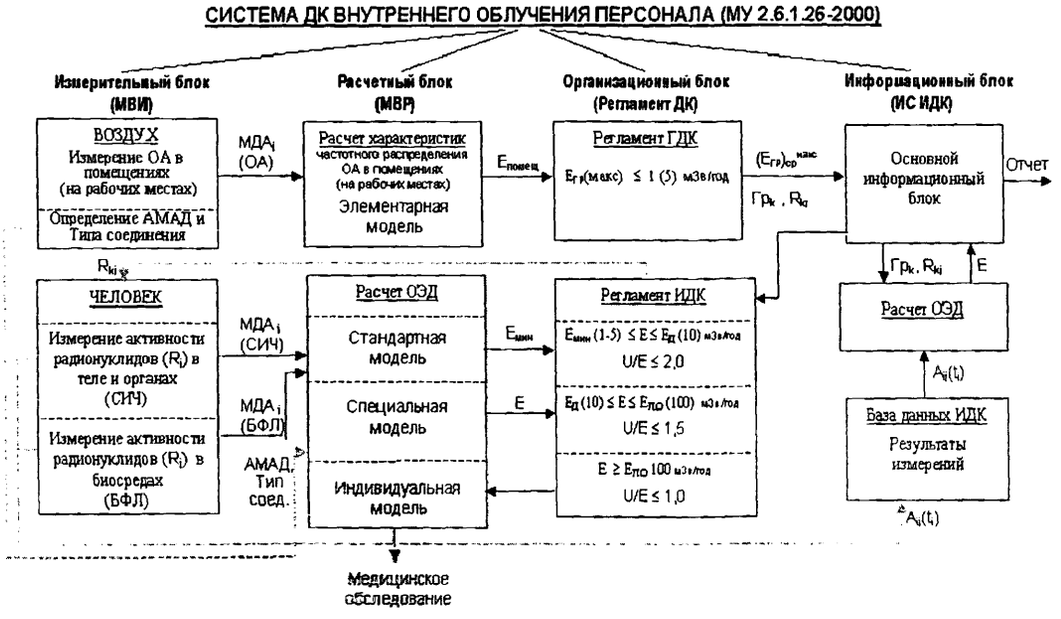
f - параметр, характеризующий вариабельность коэффициента (функции) выведения радионуклида с мочой или калом, которая наблюдается у реального человека;

АМАД - активностный медианный аэродинамический диаметр;

ИДК - индивидуальный дозиметрический контроль; ***МВИ*** - методика выполнения измерений; ***ОЭД*** - ожидаемая эффективная доза.

4. Общие положения

4.1. МВР совместно с ММК-01 реализует стандартную модель определения индивидуальных доз в системе ДК внутреннего облучения персонала:



Как видно из рисунка, система ДК внутреннего облучения персонала состоит из 4-х частей - измерительной, расчетной, организационной, информационной и 2-х уровней - группового дозиметрического контроля (ГДК), осуществляющего контроль доз по результатам измерений загрязнения воздуха помещений (рабочих мест), и индивидуального дозиметрического контроля (ИДК), осуществляющего контроль доз по результатам измерений активности радионуклидов в человеке. В свою очередь ИДК делится на 3 подуровня - «стандартный», «специальный» и «индивидуальный». Разбиение на уровни и подуровни служит для оптимизации затрат на определение величины индивидуальной дозы. Последовательность действий по определению индивидуальных доз персонала отражается в Регламенте ДК.

Расчетная часть позволяет связать измеряемые величины (обеспечиваемые измерительной частью) с результирующей индивидуальной ОЭД. Она позволяет решать задачу *оптимизации* системы ДК исходя из возможностей имеющейся в наличии измерительной части и *системой установленных допустимых уровней и неопределенностей* оценки индивидуальных доз, являясь, таким образом, *инструментом для разработки Регламента ДК* внутреннего облучения персонала предприятия.

Стандартная модель определения индивидуальных доз в системе ДК внутреннего облучения персонала является базовой моделью расчета, достаточной *для разработки Регламента ИДК*.

4.2. Стандартная модель, согласно МУ 2.6.1.16-2000 (п.10.1), используется в рамках ИДК персонала в контролируемых условиях (НРБ-99, п.3), когда значение индивидуальной дозы (полученное с использованием стандартной модели) не превышает уровня действия (УД).

4.3. Стандартная модель включает:

- определение индивидуальных доз облучения по результатам индивидуальных систематических измерений активности радионуклидов в моче или кале человека;
- распространение на объект контроля *стандартных условий облучения*.

4.4. Стандартные условия облучения характеризуются следующими параметрами:

- объемом вдыхаемого воздуха, с которым радионуклид может поступить в органы дыхания персонала группы А на протяжении календарного года: $V_{ПЕРС} = 2{,}4 \cdot 10^3$ м^3;
- классификацией дисперсной фазы радиоактивного аэрозоля по скорости перехода радионуклида из легких в кровь согласно п.8.3 НРБ-99 и распределением химических соединений элементов по типам при ингаляции согласно приложению П-3 к НРБ-99.
- логарифмически нормальным распределением активности по размерам частиц дисперсной фазы аэрозоля с активностным медианным аэродинамическим диаметром (АМАД), равным 1 мкм и стандартным геометрическим отклонением, равным 2,5.

4.5. Расчет доз проводят в предположении, что каждый человек соответствует характеристикам *стандартного работника*. При этом игнорируется возможное отличие действительной индивидуальной дозы от расчетной, обусловленное различием между характеристиками стандартного человека и биологическими характеристиками индивида.

4.6. Определение величины индивидуальной ОЭД (E) и оценка неопределенности расчета дозы (U) проводится путем математического моделирования процесса поступления и выведения радионуклидов из организма стандартного человека и использования метода статистических испытаний (метода Монте-Карло) для нахождения *распределения* оценок величин E и его параметров.

4.7. При определении величины индивидуальной ОЭД и оценке неопределенности расчета дозы учитывают:

- случайный характер поступления радионуклида в органы дыхания и неопределенность момента поступления радионуклида за период контроля;
- погрешность измерений активности радионуклидов в моче или кале человека согласно МВИ;
- неопределенность используемого биофизического метода измерения;
- величины активности радионуклида в моче или кале, обусловленные поступлением радионуклида в организм работника в прошлом.

5. Алгоритм расчета поступления и ОЭД и оценка их погрешности

5.1. Расчет поступления и ОЭД проводится с использованием программы ММК-01.

5.2. Исходными данными для расчета поступления радионуклида и ОЭД служат:

- результаты систематических измерений активности радионуклида в суточном количестве мочи или кала человека, A_{mi};
- даты измерений, t_i;
- функция выведения радионуклида из организма человека для рассматриваемых условий облучения, R(t);
- дозовый коэффициент перехода от поступления радионуклида к ОЭД для рассматриваемых условий облучения, ε_R.

5.3. Оценка ингаляционного поступления радионуклида и ОЭД проводится в соответствии со следующей моделью:

5.3.1. Активность радионуклида в моче или кале человека обусловлена ингаляционным поступлением данного радионуклида за рассматриваемый и за все предыдущие периоды контроля и связана с поступлением соотношением:

$$A_i = \sum_{j=1}^{i} \int_{t_{j-1}}^{t_j} I_j(\tau) \cdot R(t_i - \tau) d\tau = \sum_{j=1}^{i} \Pi_j \cdot R(t_i - \tau_j), \qquad (5.1)$$

где i = 1,2,...,n; n - число измерений; A_i - активность радионуклида в моче или кале человека в момент времени t_i; R(t) - функция выведения радионуклида с мочой или калом человека, приведенная в приложении 2; Π_j - значение величины однократного ингаляционного поступления радионуклида за j-ый период контроля; $I_j(t)$ - скорость ингаляционного поступления радионуклида за j-ый период контроля (промежуток времени между двумя последовательными измерениями $[t_{j-1}, t_j]$), которая имеет следующий вид:

$$I_j(t) = \Pi_j \cdot \delta(\tau_j), \qquad (5.2)$$

где τ_j - момент времени, в который произошло однократное ингаляционное поступление радионуклида за j-ый период контроля (нулевой период контроля либо начинается формально с нуля, либо с даты начала работы в условиях, при которых необходим ИДК, либо с даты «нулевого» измерения, если его проводят *перед* началом работы индивидуума).

5.3.2. ОЭД на момент времени t_i, E_i связана с поступлением Π_i соотношением:

$$E_i = \sum_{j=1}^{i} \Pi_j \cdot \varepsilon_{Rj} = \varepsilon_R \cdot \Pi_i. \qquad (5.3)$$

Значения коэффициентов ε_R приведены в приложении 2.

5.4. Оценки величин ингаляционного поступления (П) и ОЭД (Е) проводят методом Монте-Карло. При этом, в каждом испытании для каждого периода контроля, j, следующим параметрам присваиваются случайные значения:

A_j - случайное, нормально-распределенное значение со средним, равным измеренному значению активности A_{mi} и дисперсией равной $(\Delta A_{mi} / 2)^2$;

f_j - случайная переменная, имеющая логнормальное распределение с параметрами: x_g и σ_g, где x_g - геометрическое среднее и σ_g - геометрическое стандартное отклонение [5,6];

τ_j - *дата* поступления является случайной величиной, равномерно распределенной в пределах $(t_{j-1}; t_j)$.

5.5. Для каждого статистического испытания (с номером N) и присвоенных случайных значений A_{jN} и τ_{jN} в соответствии с заданной в п.5.3 моделью рассчитываются значения величин Π_{jN}; $\Sigma\Pi_{jN}$ и ОЭД (E_{jN}; ΣE_{jN}):

$$\Pi_{1N} = \frac{A_{1N}}{f_{1N} \cdot R(t_1 - \tau_1)}, \qquad (5.4)$$

$$\Pi_{jN} = \frac{1}{f_{jN} \cdot R(t_j - \tau_j)} \cdot (A_{jN} - \sum_{r=1}^{j-1} \Pi_{rN} \cdot f_{jN} \cdot R(t_j - \tau_r)), \quad j = 2,3,...,n \qquad (5.5)$$

$$E_{jN} = \varepsilon_R \cdot \Pi_{jN}, \qquad (5.6)$$

$$\sum \Pi_{jN} = \sum_{k=1}^{j} \Pi_{kN}; \quad \sum E_{jN} = \sum_{k=1}^{j} E_{kN}, \qquad (5.7)$$

где: N - номер статистического испытания.

5.6. Используя значения поступлений и ОЭД за периоды контроля (Π_{jN}; $\Sigma\Pi_{jN}$ и E_{jN}; ΣE_{jN}) рассчитывают годовые и соответствующие суммарные поступления и ОЭД, используя правило: годовое поступление (ОЭД) равно сумме полных годовых поступлений (ОЭД) за периоды контроля, полностью принадлежащие данному календарному году, и пропорциональных долей годовых поступлений (ОЭД) тех периодов контроля, которые принадлежат данному и последующему (предыдущему) календарному году.

5.7. В качестве результирующих значений поступлений и доз принимают средние (медианные) значения полученных распределений:

$$\Sigma\Pi_{im}(\Sigma\Pi_{i50}) = <\Sigma\Pi_{iN}>; \ \Sigma E_{im}(\Sigma E_{i50}) = <\Sigma E_{iN}>, \qquad (5.8)$$

где i =1,2,... - порядковый номер календарного года

При этом,

если $\Sigma\Pi_i < \Sigma\Pi_{i-1}, \Sigma\Pi_{i-2}, ..., \Sigma\Pi_{i-k}$, то величинам $\Sigma\Pi_i, \Sigma\Pi_{i-1}, \Sigma\Pi_{i-2}, ..., \Sigma\Pi_{i-k}$ присваивается «наилучшее» значение $(\Sigma\Pi_i + \Sigma\Pi_{i-1} + \Sigma\Pi_{i-2} + ... + \Sigma\Pi_{i-k})/(k+1)$;

если $\Sigma E_i < \Sigma E_{i-1}, \Sigma E_{i-2}, ..., \Sigma E_{i-k}$, то величинам $\Sigma E_i, \Sigma E_{i-1}, \Sigma E_{i-2}, ..., \Sigma E_{i-k}$ присваивается «наилучшее» значение $(\Sigma E_i + \Sigma E_{i-1} + \Sigma E_{i-2} + ... + \Sigma E_{i-k})/(k+1)$.

5.8. Находят «наилучшие» средние (медианные) значения годовых поступлений и ОЭД Π_{im}; E_{im} и Π_{i50}; E_{i50} как разницу соответствующих «наилучших» суммарных значений $\Sigma\Pi_{im}$ $(\Sigma\Pi_{i50})$ и ΣE_{im} (ΣE_{i50}).

5.9. В качестве погрешности расчета принимают разницу между верхней границей интервала (Π_{95}, E_{95}), в который попадают 95 % результатов Π_{iN} и E_{iN}, полученных методом Монте-Карло, и средними значениями Π_i и E_i.

5.10. Пример расчета поступления радионуклида и ОЭД с использованием приведенного выше алгоритма представлен в Приложении 3.

5.11. Используемые дозовые коэффициенты перехода от поступления радионуклидов к ОЭД ε_R и функции удержания радионуклидов в теле человека R(t) приведены в Приложении 2.

6. Оформление результата расчета индивидуальной дозы

4.8. Результат расчета оформляют протоколом в форме индивидуальной записи об облучении работника в течение всего контролируемого периода.

4.9. В записи об облучении работника отражаются:

- идентификационная информация об индивидууме и его профессиональной деятельности;
- индивидуальная ОЭД, полученная в течение текущего и всех предшествующих периодов контроля и календарных лет с указанием неопределенности ее расчета.

4.10. При оформлении протокола учитывают требования статьи 11 Федерального Закона «Об информации, информатизации и защите информации» № 24-ФЗ от 20.02.1995 г. о том, что индивидуальные записи об облучении работника относятся к категории конфиденциальной информации.

7. Библиографические данные

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Гигиенические нормативы СП-2.6.1.758-99. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999.

2. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). Санитарные правила СП-2.6.1.799-99. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2000.

3. МУ 2.6.1.16-2000. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования.

4. МУ 2.6.1.026-2000. Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения. Общие требования.

5. Хохряков В.Ф. Обмен промышленных соединений плутония в организме человека. Моделирование транспорта и разработка косвенной дозиметрии. Дис. на соиск. уч. степ. докт. биол. наук. М., 1984, 322 с.

6. Бадьин В.И., Булдаков Л.А., Гастева Г.Н., Молоканов А.А., Мордашева В.В., Сорокин А.В. Исследование клинических эффектов у работников при хроническом поступлении плутония: 30-летнее наблюдение за критической группой лиц. IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, August 22-27, 1999, Budapest, Hungary.

7. L. Bertelly, A. Puerta, M.E. Wrenn and J.L. Lipsztein, Bioassay interpretation and dosivetry using specific absorption parameters for UO2 and U3O8. Radiation Protection Dosimetry Vol. 79, Nos 1-4, hh. 111-113 (1998) Nuclear Technology Publishing.

8. E. Ansoborlo, R.A. Guimette, M.D. Hoover et al, Application of in vitro dissolution tests to different Uranium compounds and comparison with in vivo data. Radiation Protection Dosimetry Vol. 79, Nos 1-4, hh. 33-37 (1998) Nuclear Technology Publishing

9. ICRP, Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1, ICRP Publication No. 56, Ann. ICRP 20 (2), Pergamon Press, Oxford (1989).

10. ICRP, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP Publication No. 66, Ann. ICRP 24 (1-3), Elsevier Science, Oxford (1994).

11. ICRP, Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2, Ingestion Dose Coefficients, ICRP Publication No. 67, Ann. ICRP 23 (3/4), Elsevier Science, Oxford (1993).

12. ICRP, Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 3, Ingestion Dose Coefficients, ICRP Publication No. 69, Ann. ICRP 25 (1), Elsevier Science, Oxford (1995).

13. ICRP, Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 4, Inhalation Dose Coefficients, ICRP Publication No. 71, Ann. ICRP 25 (3-4), Elsevier Science, Oxford (1995).

14. N. Ishigure. Database of Calculated Values of Retention and Excretion for Members of the Public Following Acute Intake of Radionuclides. Internal Dosimetry of Radionuclides. Occupational, Public and Medical Exposure. Proceedings of a Workshop, Oxford, United Kingdom, September 9-12 2002.

8. ПРИЛОЖЕНИЯ

8.1 Приложение 1.

Работа с программой ММК-01

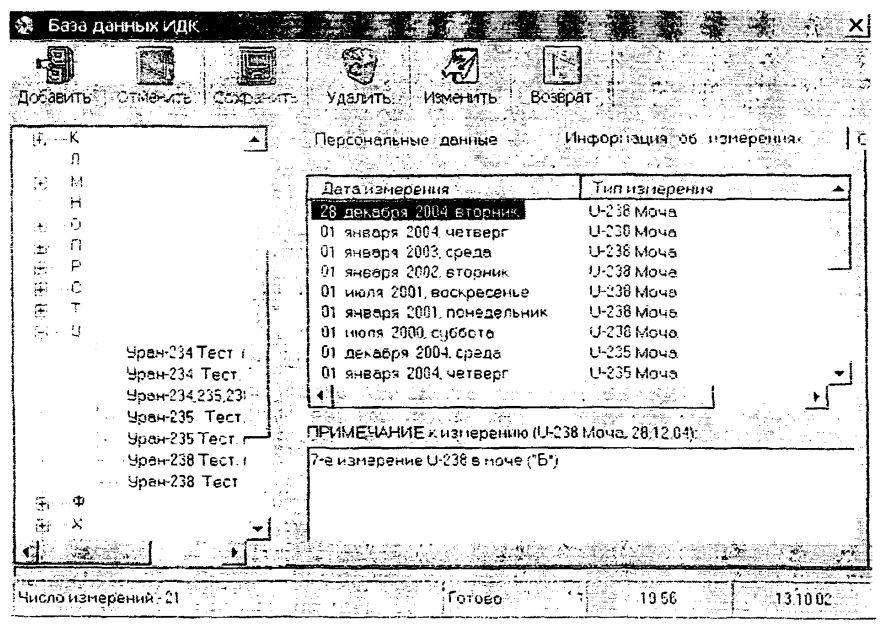
1. Компьютерная программа ММК-01 предназначена для проведения расчетов индивидуальных доз персонала в соответствии с МВР. Она состоит из трех функциональных блоков:

• *Блок формирования электронной базы данных* результатов систематических измерений активности радионуклидов в биопробах человека;

• *Блок проведения расчетов* индивидуальных ожидаемых эффективных доз облучения работников за любой календарный год по результатам измерений, содержащихся в электронной базе данных;

• *Блок выдачи информации* по уровню внутреннего облучения работника в виде протокола и графических иллюстраций.

2. *Блок формирования электронной базы данных* осуществляет автоматическую запись необходимых исходных данных и результатов измерений в виде таблицы в формате Access и имеет форму:



Операции с электронной базой данных ИДК осуществляются при помощи:

• кнопок, расположенных в верхней части формы;

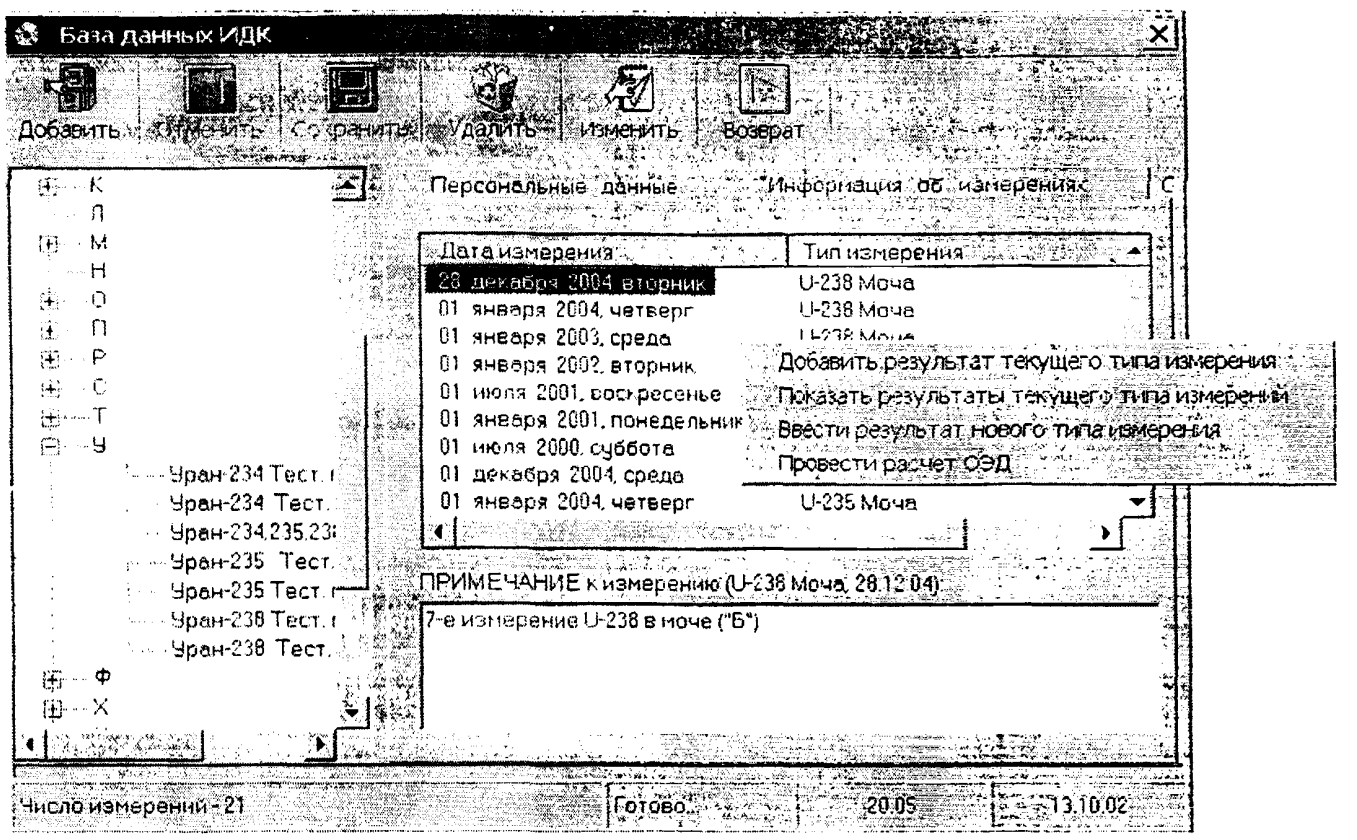
• алфавита, отображенного в левом окне с помощью «дерева» (если в базе данных имеется объект (человек) с фамилией, начинающейся с определенной буквы, значок [+] информирует об этом);

• вызова соответствующих таблиц (Персональные данные, Информация об измерениях).

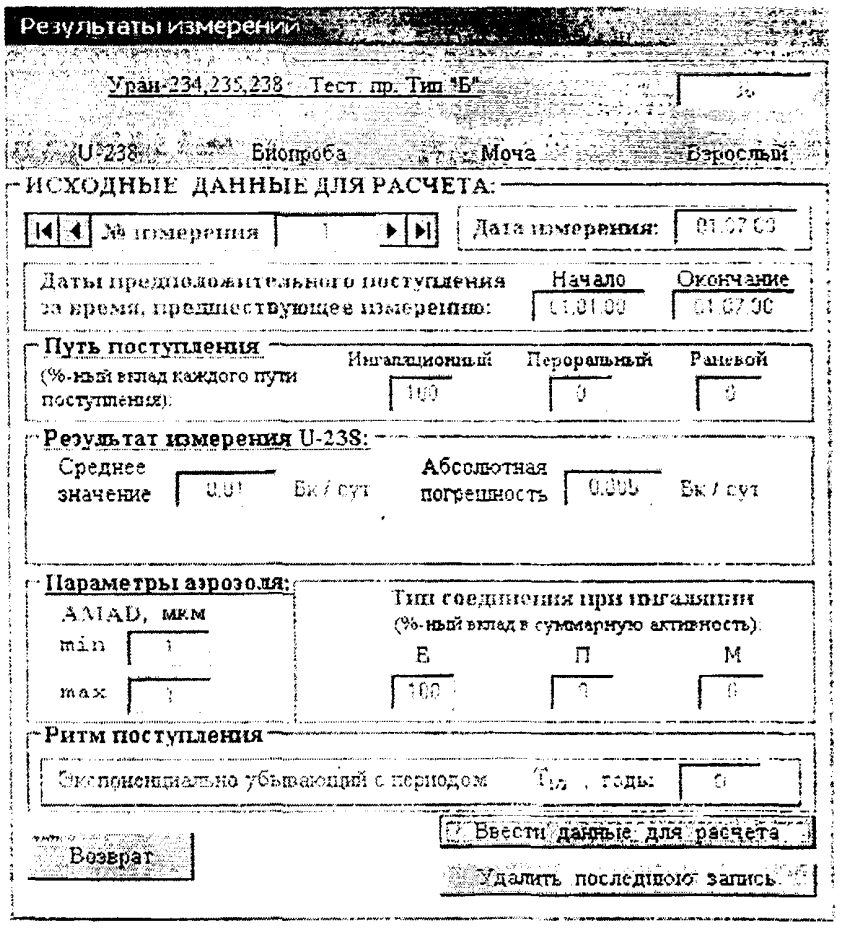
База данных ИДК первоначально содержит тестовые примеры на все радионуклиды, на которые программа позволяет проводить расчеты индивидуальных ожидаемых эффективных доз облучения работников (о чем программа информирует значком [+] в левом окне).

3. Для вызова данных и проведения расчетов необходимо выбрать объект (человека), нажав указателем мыши на соответствующий [+] и соответствующий объект (фамилию). После этого нажать указателем мыши на вкладку «Информация об измерениях» - появится

таблица, отображающая даты измерений и тип измерения. Далее поместить указатель мыши на соответствующую дату (тип) измерения и нажать на **правую кнопку** - появится меню, позволяющее выбрать 4 операции (см. рисунок):



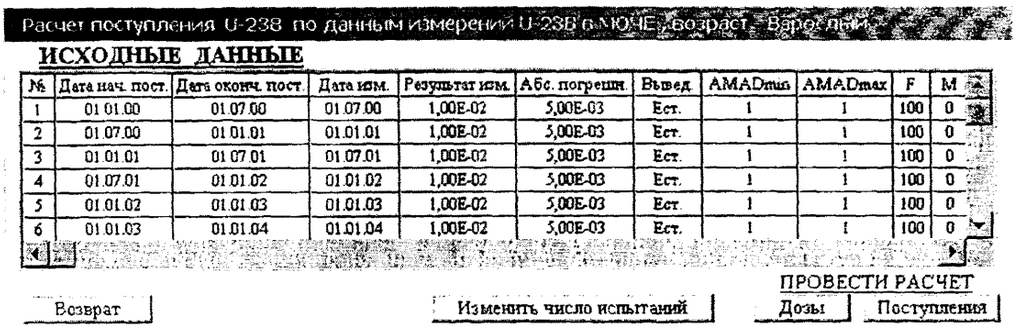
При выборе меню «Показать результаты текущего типа измерения» появится форма, отображающая указанные результаты измерений:



Она позволяет проводить следующие процедуры:

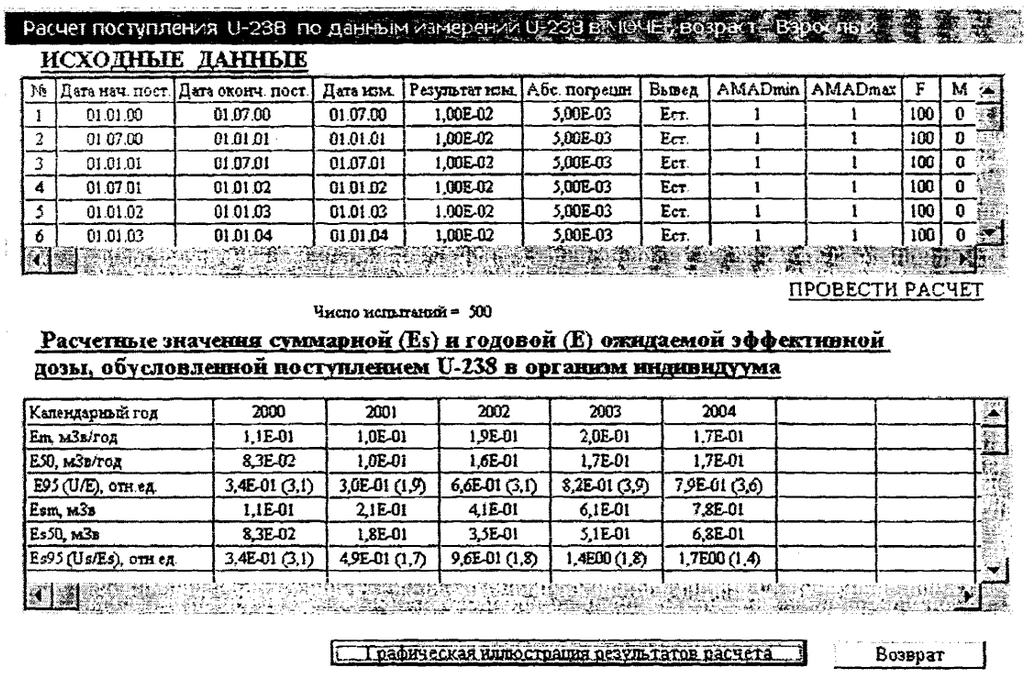
- Ввод данных для расчета.
- Редактирование (удаление) данных.

При нажатии кнопки «Ввести данные для расчета» появляется форма, содержащая таблицу с необходимыми для расчета доз исходными данными:



№	Дата нач. пост.	Дата оконч. пост.	Дата изм.	Результат изм.	Абс. погрешн.	Вывед.	AMADmin	AMADmax	F	M
1	01.01.00	01.07.00	01.07.00	1,00E-02	5,00E-03	Ест.	1	1	100	0
2	01.07.00	01.01.01	01.01.01	1,00E-02	5,00E-03	Ест.	1	1	100	0
3	01.01.01	01.07.01	01.07.01	1,00E-02	5,00E-03	Ест.	1	1	100	0
4	01.07.01	01.01.02	01.01.02	1,00E-02	5,00E-03	Ест.	1	1	100	0
5	01.01.02	01.01.03	01.01.03	1,00E-02	5,00E-03	Ест.	1	1	100	0
6	01.01.03	01.01.04	01.01.04	1,00E-02	5,00E-03	Ест.	1	1	100	0

Программа позволяет проводить расчет «Дозы» и «Поступления» (для изотопов урана поступление рассчитывается в миллиграммах). При нажатии кнопки «Дозы» (или «Поступления») на форме появляется таблица с результатами расчета дозы (поступления):



№	Дата нач. пост.	Дата оконч. пост.	Дата изм.	Результат изм.	Абс. погрешн.	Вывед.	AMADmin	AMADmax	F	M
1	01.01.00	01.07.00	01.07.00	1,00E-02	5,00E-03	Ест.	1	1	100	0
2	01.07.00	01.01.01	01.01.01	1,00E-02	5,00E-03	Ест.	1	1	100	0
3	01.01.01	01.07.01	01.07.01	1,00E-02	5,00E-03	Ест.	1	1	100	0
4	01.07.01	01.01.02	01.01.02	1,00E-02	5,00E-03	Ест.	1	1	100	0
5	01.01.02	01.01.03	01.01.03	1,00E-02	5,00E-03	Ест.	1	1	100	0
6	01.01.03	01.01.04	01.01.04	1,00E-02	5,00E-03	Ест.	1	1	100	0

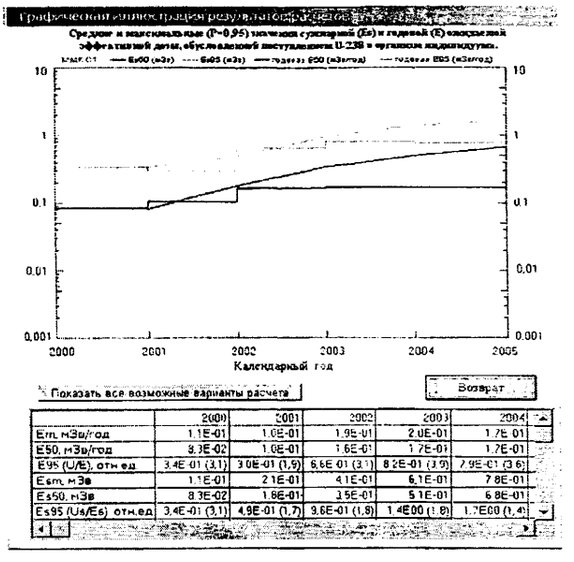
Календарный год	2000	2001	2002	2003	2004		
Em, мЗв/год	1,1E-01	1,0E-01	1,9E-01	2,0E-01	1,7E-01		
E50, мЗв/год	8,3E-02	1,0E-01	1,6E-01	1,7E-01	1,7E-01		
E95 (U/E), отн.ед.	3,4E-01 (3,1)	3,0E-01 (1,9)	6,6E-01 (3,1)	8,2E-01 (3,9)	7,9E-01 (3,6)		
Esm, мЗв	1,1E-01	2,1E-01	4,1E-01	6,1E-01	7,8E-01		
Es50, мЗв	8,3E-02	1,8E-01	3,5E-01	5,1E-01	6,8E-01		
Es95 (Us/Es), отн ед.	3,4E-01 (3,1)	4,9E-01 (1,7)	9,6E-01 (1,8)	1,4E00 (1,8)	1,7E00 (1,4)		

В таблице представлены результаты расчета средних и медианных значений суммарной (Es) и годовой (E) ОЭД, верхние границы интервалов (E_{95}), в которые попадают 95 % результатов расчетов E_{iN}, полученных методом Монте-Карло, а также относительная неопределенность (U/E) оценки значений величин E_{50}. Воспроизводимость результатов (статистических) расчетов зависит от числа испытаний. Для изменения погрешности расчета (Es) и (E) предусмотрена возможность изменения числа испытаний (кнопка «Изменить число испытаний»), которая появляется, если нажать кнопку «Возврат», расположенную под табли-

цей результатов расчета.

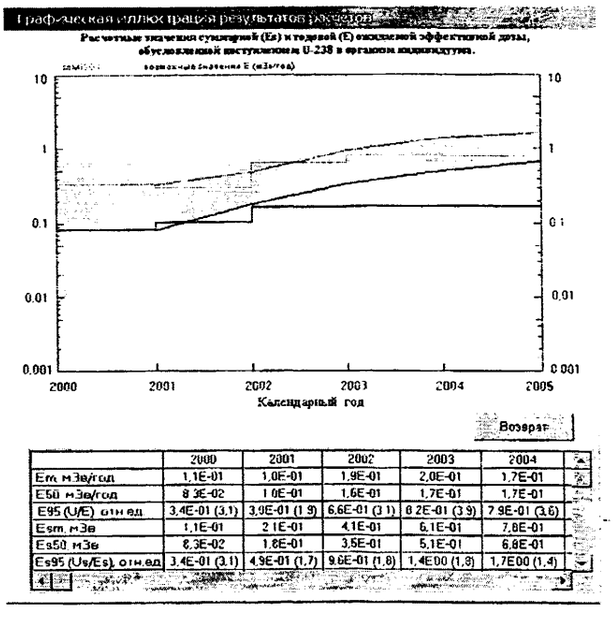
При нажатии кнопки «Графическая иллюстрация результатов расчета» появляется форма, которая позволяет увидеть следующие результаты расчета в графическом изображении:

- среднее («наилучшее») значение ОЭД за каждый календарный год - годовая E_{50} (мЗв/год);
- среднее («наилучшее») значение суммарной ОЭД на окончание каждого календарного года - E_{s50} (мЗв);
- верхнюю границу 95%-го интервала частотного распределения годовых (E_{95}) и суммарных (E_{s95}) ОЭД (мЗв).



	2000	2001	2002	2003	2004
Em, мЗв/год	1.1E-01	1.0E-01	1.9E-01	2.0E-01	1.7E-01
E50, мЗв/год	8.3E-02	1.0E-01	1.6E-01	1.7E-01	1.7E-01
E95 (U/E), отн.ед	3.4E-01 (3,1)	3.0E-01 (1,9)	6.6E-01 (3,1)	8.2E-01 (3,9)	7.9E-01 (3,6)
Esm, мЗв	1.1E-01	2.1E-01	4.1E-01	6.1E-01	7.8E-01
Es50, мЗв	8.3E-02	1.8E-01	3.5E-01	5.1E-01	6.8E-01
Es95 (Us/Es), отн.ед	3.4E-01 (3,1)	4.9E-01 (1,7)	9.6E-01 (1,8)	1.4E00 (1,9)	1.7E00 (1,4)

При нажатии кнопки «Показать все возможные варианты расчета» появляется форма, которая позволяет дополнительно увидеть все возможные варианты расчета годовых ОЭД в графическом изображении:



	2000	2001	2002	2003	2004
Em, мЗв/год	1,1E-01	1,0E-01	1,9E-01	2,0E-01	1,7E-01
E50, мЗв/год	8,3E-02	1,0E-01	1,6E-01	1,7E-01	1,7E-01
E95 (U/E), отн.ед	3,4E-01 (3,1)	3,0E-01 (1,9)	6,6E-01 (3,1)	8,2E-01 (3,9)	7,9E-01 (3,6)
Esm, мЗв	1,1E-01	2,1E-01	4,1E-01	6,1E-01	7,8E-01
Es50, мЗв	8,3E-02	1,8E-01	3,5E-01	5,1E-01	6,8E-01
Es95 (Us/Es), отн.ед	3,4E-01 (3,1)	4,9E-01 (1,7)	9,6E-01 (1,8)	1,4E00 (1,9)	1,7E00 (1,4)

4. *Блок выдачи информации* позволяет выводить результаты расчетов в виде протокола, в котором указывают:

- идентификационные данные работника;
- суммарную ОЭД внутреннего облучения работника (обусловленную ингаляционным поступлением данного радионуклида в организм) на текущий момент времени (а также на момент окончания любого предыдущего календарного года) и неопределенность ее расчета;
- годовые ОЭД внутреннего облучения работника (обусловленные ингаляционным поступлением данного радионуклида в организм) за последние 5 лет (или за все предшествующие годы работы).

8.2. Приложение 2

Дозовые коэффициенты ε_R и функции выведения R(t), используемые для расчета поступления радионуклидов и ОЭД

Нуклид	$T_{1/2}$	Тип соединения	ε_R (АМАД=1 мкм), Зв/Бк
1	2	3	4
H-3	12,3 лет	Г1	1,8E-11
Fe-59	44,5 сут.	Б	2,2E-09
		П	3,5E-09
Co-57	271 сут.	П	5,2E-10
		М	9,4E-10
Co-58	70,8 сут.	П	1,5E-09
		М	2,0E-09
Co-60	5,27 лет	П	9,6E-09
		М	2,9E-08
Sr-85	64,8 сут.	Б	3,9E-10
		М	7,7E-10
Sr-89	50,5 сут.	Б	1,0E-09
		М	7,5E-09
Sr-90	29,1 лет	Б	2,4E-08
		М	1,5E-07
Ru-106	1,01 лет	Б	8,0E-09
		П	2,6E-08
		М	6,2E-08
I-125	60,1 сут.	Б	5,3E-09
		Г1	1,4E-08
		Г2	1,1E-08
I-129	1,57E+07 лет	Б	3,7E-08
		Г1	9,6E-08
		Г2	7,4E-08
I-131	8,04 сут.	Б	7,6E-09
		Г1	2,0E-08
		Г2	1,5E-08
Cs-134	2,06 лет	Б	6,8E-09
Cs-137	30,0 лет	Б	4,8E-09
Ra-226	1,60E+03 лет	П	3,2E-06
Ra-228	5,75 лет	П	2,6E-06
Th-228	1,91 лет	П	3,1E-05
		М	3,9E-05
Th-232	1,40E+10 лет	П	4,2E-05
		М	2,3E-05

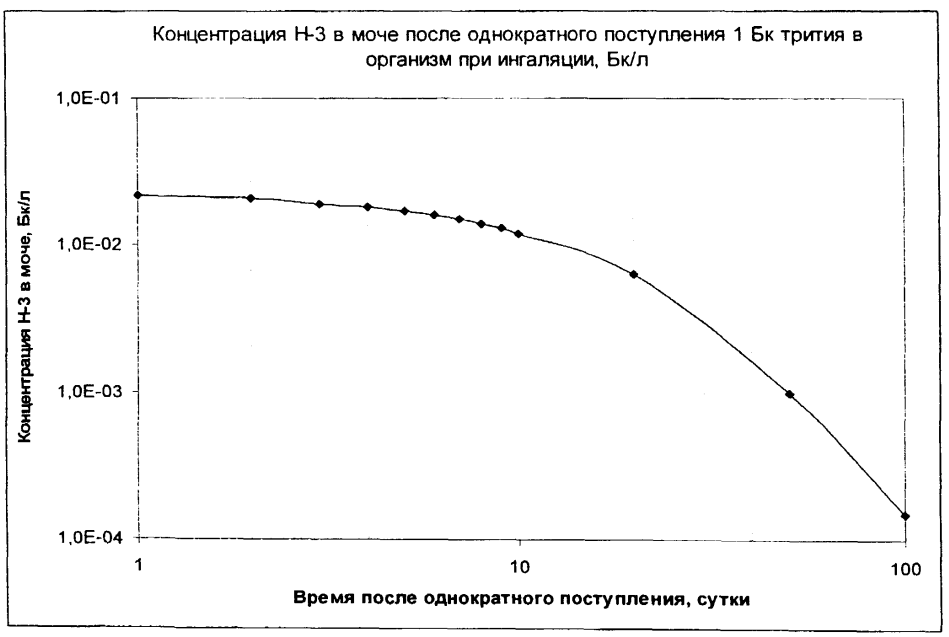
1	2	3	4
U-234	2,44E+05 лет	Б	5,5E-07
		П	3,1E-06
		М	8,5E-06
		UO_2, U_3O_8 *	5,3E-06
U-235	7,04E+08 лет	Б	5,1E-07
		П	2,8E-06
		М	7,7E-06
		UO_2, U_3O_8*	4,9E-06
U-238	4,47E+09 лет	Б	4,9E-07
		П	2,6E-06
		М	7,3E-06
		UO_2, U_3O_8*	4,6E-06
Pu-238	87,7 лет	П	4,3E-05
		М	1,5E-05
Pu-239	2,41E+04 лет	П	4,7E-05
		М	1,5E-05
Am-241	4,32E+02 лет	П	3,9E-05
		М	1,6E-05
Cm-242	163 сут.	П	4,8E-06
Cm-244	87,7 лет	П	2,5E-05
Cf-252	2,64 лет	П	1,8E-05

*) Рекомендуемые в данной методике значения дозовых коэффициентов для соединений урана UO_2, U_3O_8 [7,8].

Тритий

Функция выведения Н-3 с мочой при ингаляции паров тритированной воды (концентрация Н-3 в моче после однократного поступления 1 Бк трития в организм при ингаляции), Бк/л.

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, пары НТО)*
	Тип соединения "Г1"
1	2,2E-02
2	2,1E-02
3	1,9E-02
4	1,8E-02
5	1,7E-02
6	1,6E-02
7	1,5E-02
8	1,4E-02
9	1,3E-02
10	1,2E-02
20	6,3E-03
50	1,0E-03
100	1,5E-04

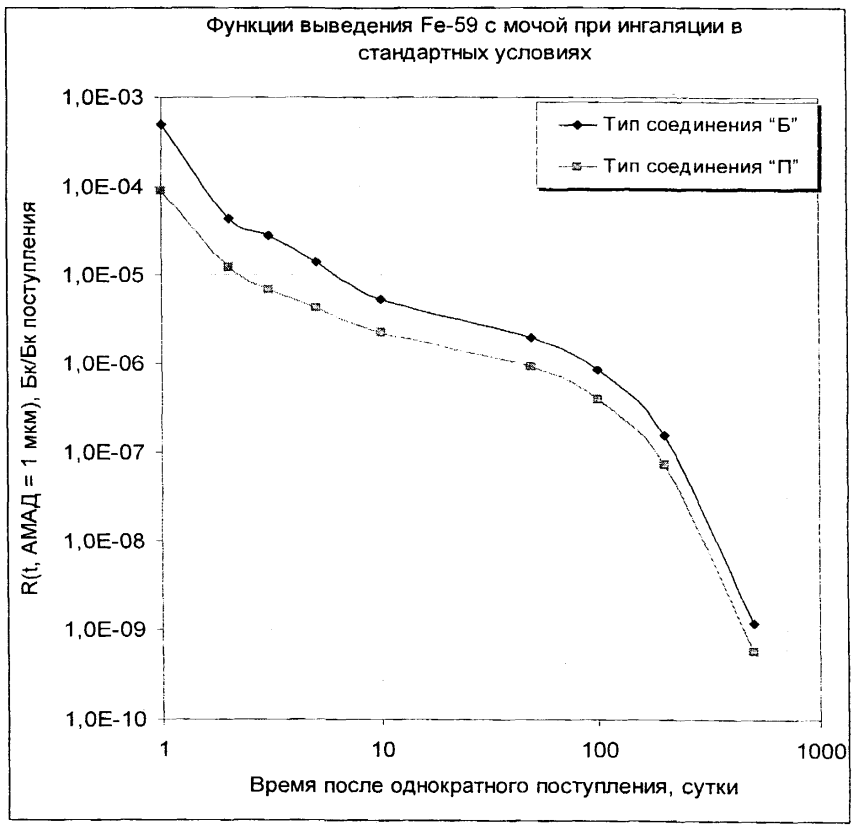


Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 1,5$.

Железо

Функции выведения Fe-59 с мочой при ингаляции в стандартных условиях

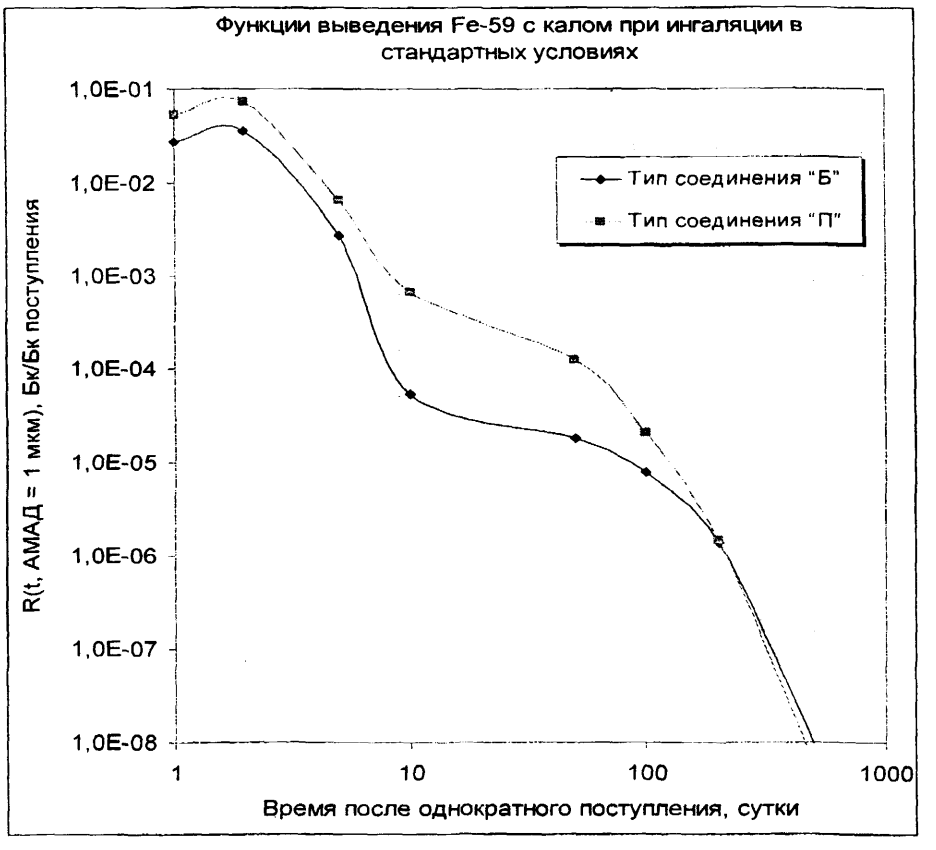
Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R(t, АМАД=1 мкм), Бк/Бк поступления*	
	Тип соединения "Б"	Тип соединения "П"
1	5,0E-04	9,0E-05
2	4,3E-05	1,2E-05
5	1,4E-05	4,2E-06
10	5,3E-06	2,2E-06
50	1,9E-06	9,1E-07
100	8,4E-07	3,9E-07
200	1,6E-07	7,5E-08
500	1,2E-09	5,7E-10



Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 1,5$.

Функции выведения Fe-59 с калом при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД=1 мкм), Бк/Бк поступления*	
	Тип соединения "Б"	Тип соединения "П"
1	2,7E-02	5,3E-02
2	3,6E-02	7,3E-02
5	2,8E-03	6,5E-03
10	5,3E-05	6,8E-04
50	1,8E-05	1,3E-04
100	7,6E-06	2,1E-05
200	1,4E-06	1,5E-06
500	9,6E-09	5,7E-09



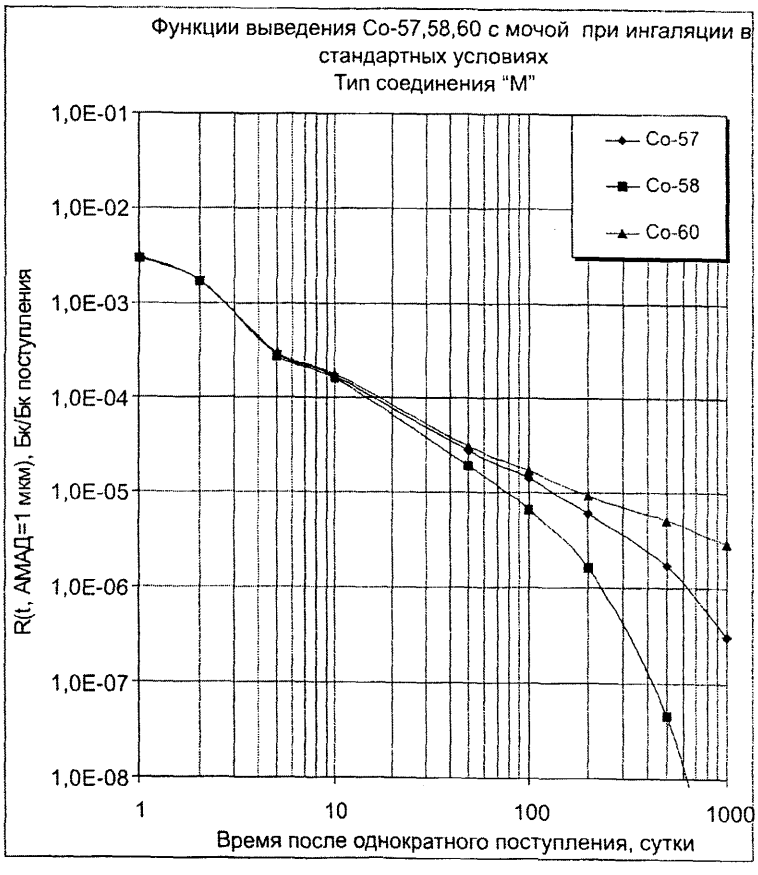
Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 2,0$.

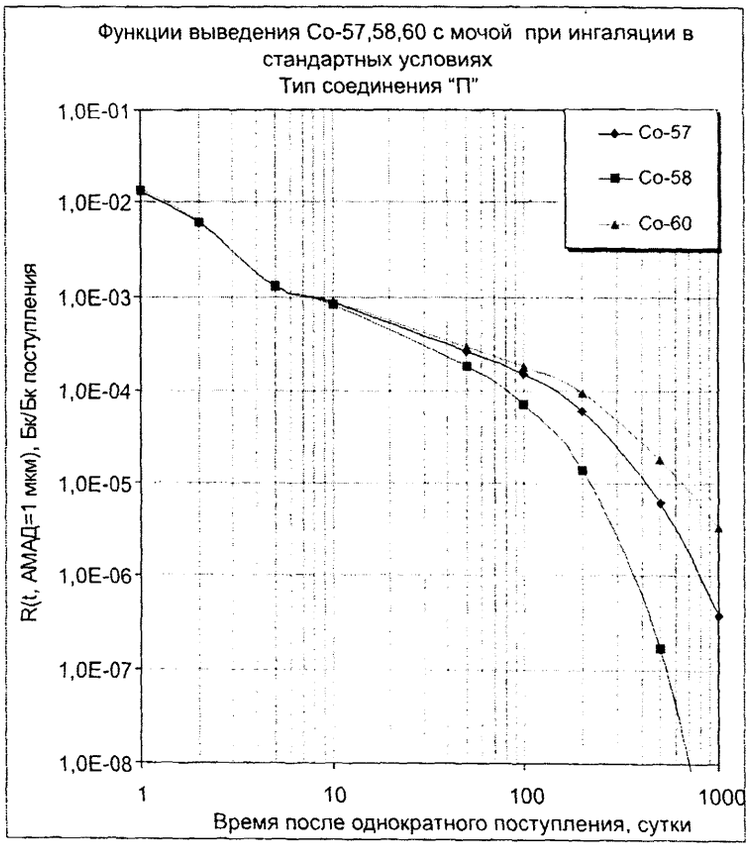
Кобальт

Функции выведения Co-57,58,60 с мочой при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД=1 мкм)*					
	Тип соединения "П"			Тип соединения "М"		
	Co-57	**Co-58**	**Co-60**	**Co-57**	**Co-58**	**Co-60**
1	1,3E-02	1,3E-02	1,4E-02	3,1E-03	3,0E-03	3,1E-03
2	6,1E-03	6,1E-03	6,2E-3	1,7E-03	1,7E-03	1,7E-03
5	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03	2,9E-04	2,8E-04	3,0E-04
10	8,7E-04	8,1E-04	8,9E-04	1,7E-04	1,6E-04	1,8E-04
50	2,6E-04	1,8E-04	2,9E-04	2,8E-05	1,9E-05	3,1E-05
100	1,5E-04	7,1E-05	1,8E-04	1,4E-05	6,6E-06	1,7E-05
200	6,0E-05	1,4E-05	9,4E-05	6,0E-06	1,6E-06	9,2E-06
500	6,2E-06	1,7E-07	1,8E-05	1,7E-06	4,6E-08	5,1E-06
1000	3,8E-07	2,7E-10	3,4E-06	3,1E-07	2,2E-10	2,9E-06

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 1,5$.

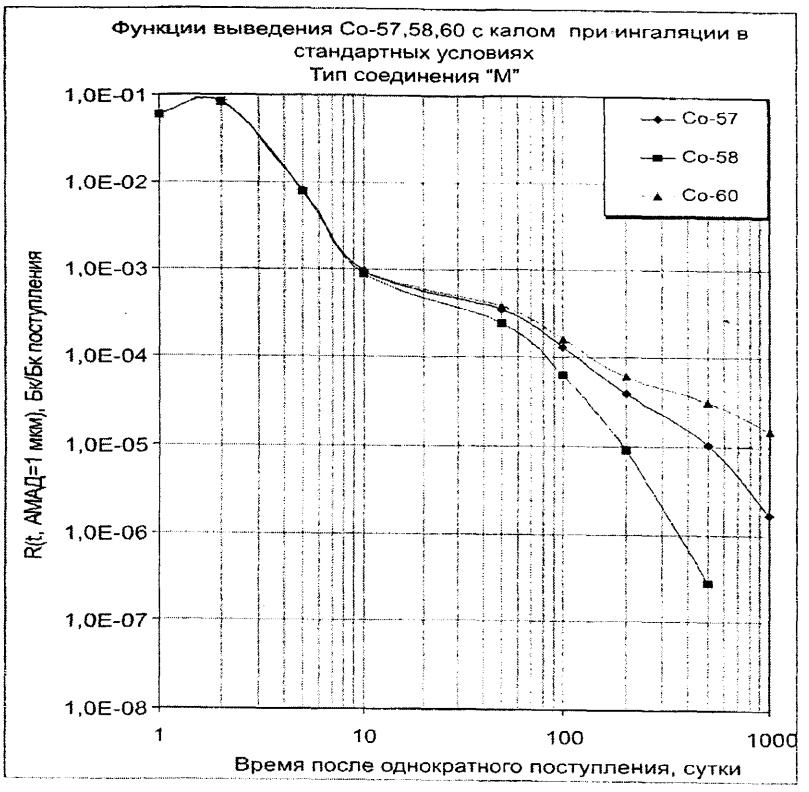


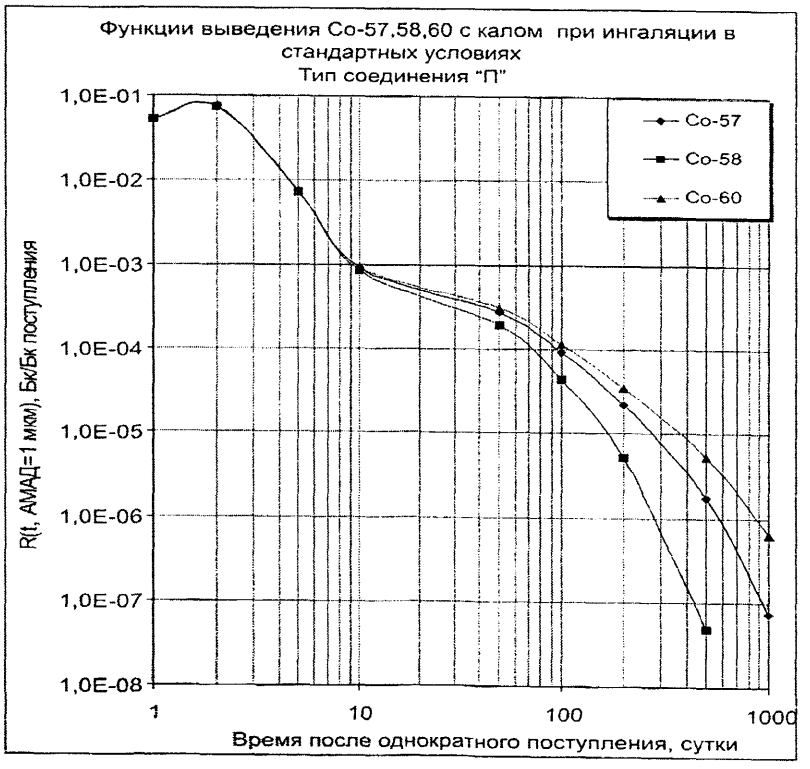


Функции выведения Co-57,58,60 с калом при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*					
	Тип соединения "П"			Тип соединения "М"		
	Co-57	**Co-58**	**Co-60**	**Co-57**	**Co-58**	**Co-60**
1	5,4E-02	5,3E-02	5,4E-02	5,9E-02	5,8E-02	5,9E-02
2	7,6E-02	7,5E-02	7,6E-02	8,4E-02	8,2E-02	8,4E-02
5	7,4E-03	7,1E-03	7,4E-03	8,0E-03	7,7E-03	8,0E-03
10	9,3E-04	8,6E-04	9,5E-04	9,6E-04	8,9E-04	9,8E-04
50	2,7E-04	1,9E-04	3,1E-04	3,5E-04	2,4E-04	3,9E-04
100	9,1E-05	4,4E-05	1,1E-04	1,3E-04	6,2E-05	1,6E-04
200	2,2E-05	5,3E-06	3,5E-05	3,9E-05	9,0E-06	6,0E-05
500	1,8E-06	4,8E-08	5,3E-06	1,0E-05	2,8E-07	3,1E-05
1000	7,3E-08	5,3E-11	6,6E-07	1,7E-06	1,2E-09	1,5E-05

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 2,0$.


Функции выведения Co-57,58,60 с калом при ингаляции в стандартных условиях
Тип соединения "М"
Co-57
Co-58
Co-60
1,0E-01
1,0E-02
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
1,0E-08
R(t, АМАД=1 мкм), Бк/Бк поступления
1
10
100
1000
Время после однократного поступления, сутки

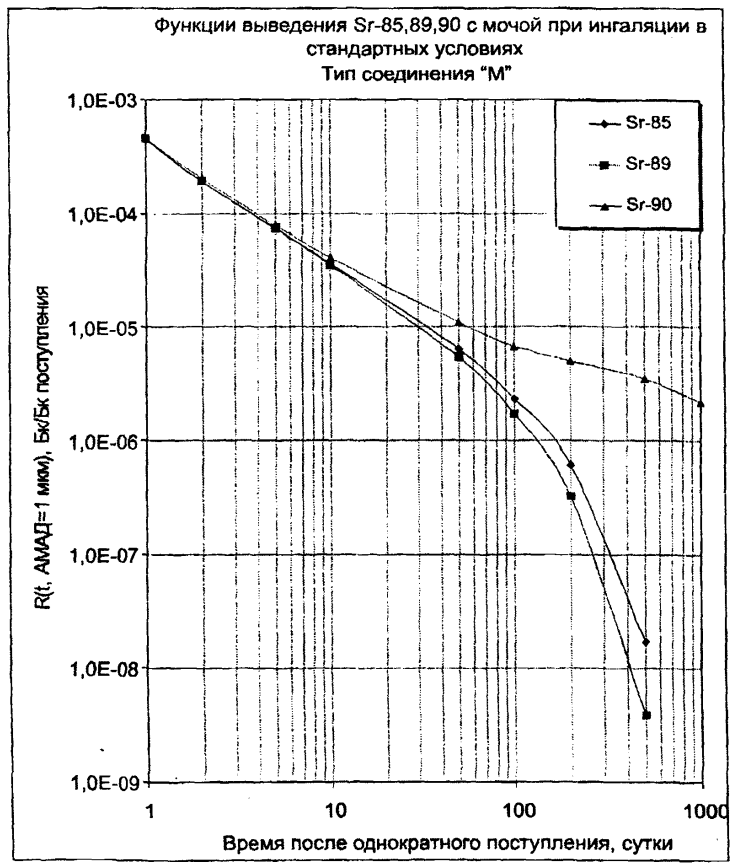

Функции выведения Co-57,58,60 с калом при ингаляции в стандартных условиях
Тип соединения "П"
Co-57
Co-58
Co-60
1,0E-01
1,0E-02
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
1,0E-08
R(t, АМАД=1 мкм), Бк/Бк поступления
1
10
100
1000
Время после однократного поступления, сутки

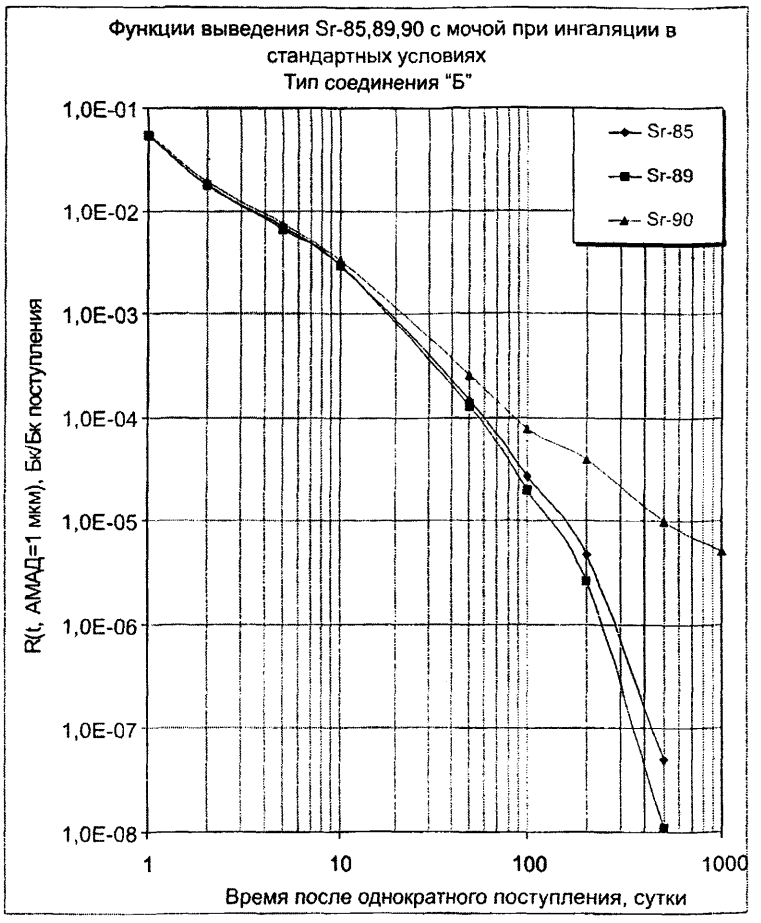
Стронций

Функции выведения Sr-85,89,90 с мочой при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*					
	Тип соединения "Б"			*Тип соединения "М"*		
	Sr-85	**Sr-89**	**Sr-90**	**Sr-85**	**Sr-89**	**Sr-90**
1	5,4E-02	5,4E-02	5,5E-02	4,5E-04	4,5E-04	4,5E-04
2	1,8E-02	1,8E-02	1,9E-02	1,9E-04	1,9E-04	2,0E-04
5	7,0E-03	6,7E-03	7,4E-03	7,4E-05	7,3E-05	7,8E-05
10	3,0E-03	2,9E-03	3,3E-03	3,6E-05	3,5E-05	4,1E-05
50	1,5E-04	1,3E-04	2,6E-04	6,3E-06	5,4E-06	1,1E-05
100	2,7E-05	2,0E-05	7,9E-05	2,3E-06	1,7E-06	6,7E-06
200	4,7E-06	2,6E-06	4,0E-05	6,0E-07	3,2E-07	5,0E-06
500	5,0E-08	1,1E-08	1,0E-05	1,7E-08	3,8E-09	3,5E-06
1000			5,1E-06			2,2E-06

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 1,5$.

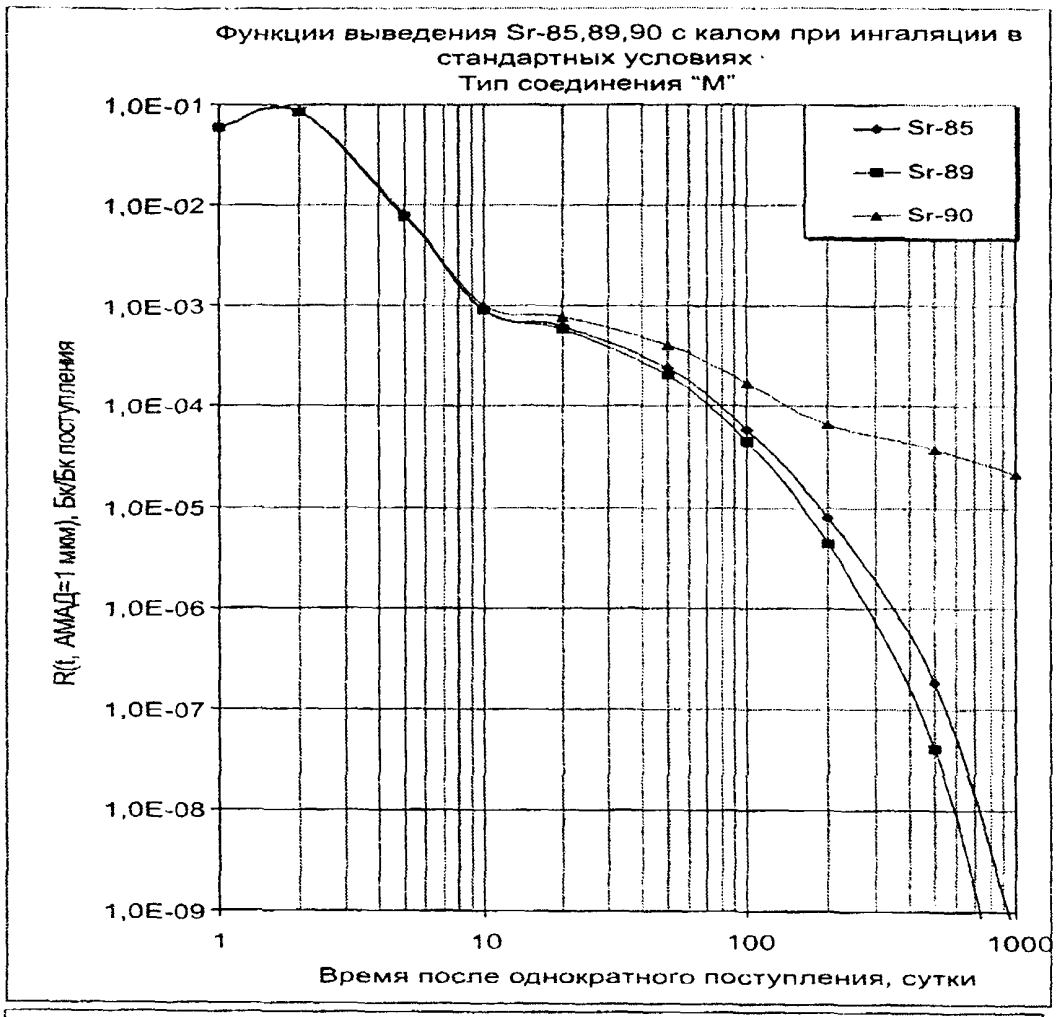


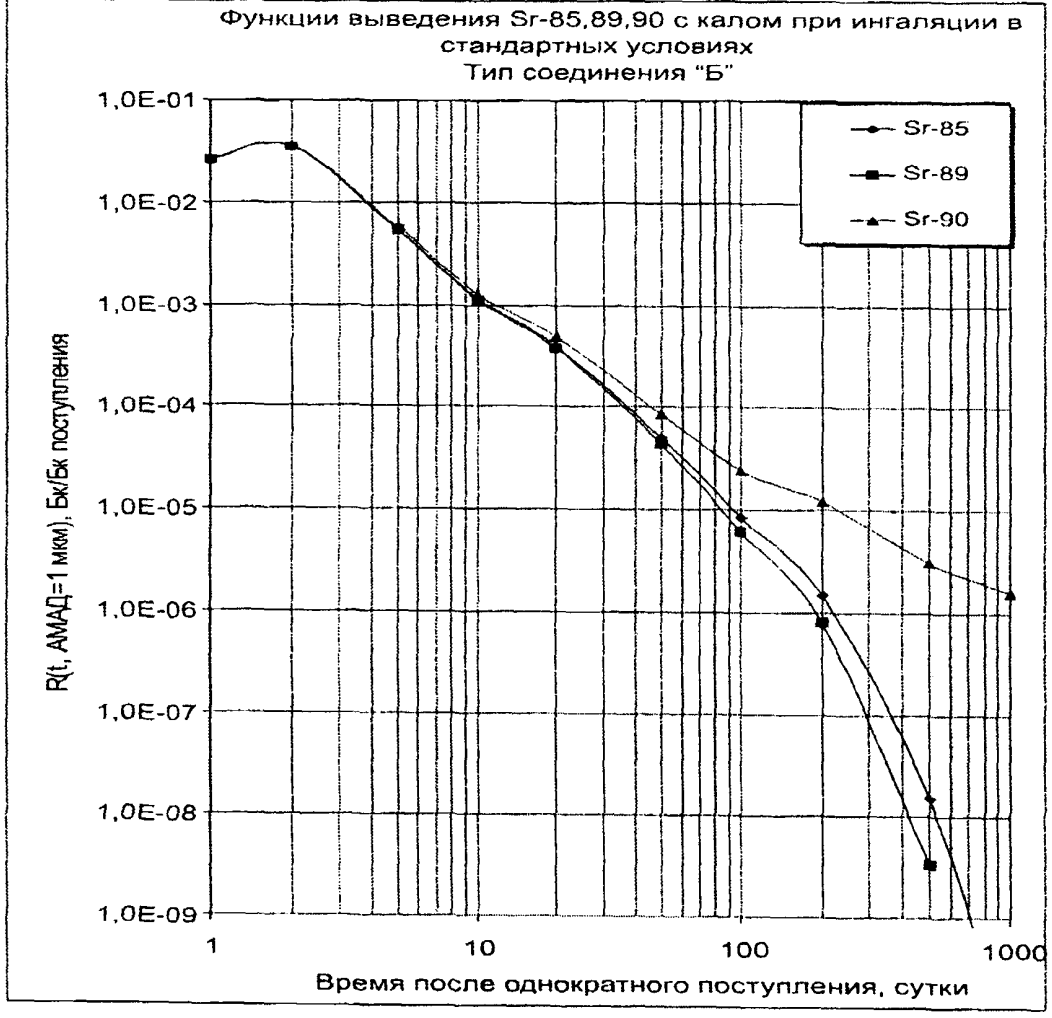


Функции выведения Sr-85,89,90 с калом при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*					
	Тип соединения "Б"			Тип соединения "М"		
	Sr-85	**Sr-89**	**Sr-90**	**Sr-85**	**Sr-89**	**Sr-90**
1	2,6E-02	2,6E-02	2,7E-02	6,0E-02	6,0E-02	6,1E-02
2	3,5E-02	3,5E-02	3,6E-02	8,6E-02	8,5E-02	8,8E-02
5	5,5E-03	5,4E-03	5,8E-03	7,9E-03	7,8E-03	8,4E-03
10	1,1E-03	1,1E-03	1,3E-03	9,0E-04	8,8E-04	1,0E-03
20	3,9E-04	3,7E-04	4,9E-04	6,1E-04	5,8E-04	7,6E-04
50	5,0E-05	4,3E-05	8,5E-05	2,4E-04	2,1E-04	4,1E-04
100	8,4E-06	6,2E-06	2,4E-05	5,9E-05	4,4E-05	1,7E-04
200	1,5E-06	7,9E-07	1,2E-05	7,8E-06	4,3E-06	6,6E-05
500	1,5E-08	3,3E-09	3,1E-06	1,9E-07	4,1E-08	3,7E-05
1000	3,8E-11		1,6E-06	5,2E-10	2,5E-11	2,1E-05

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 2,0$.


Функции выведения Sr-85,89,90 с калом при ингаляции в стандартных условиях
Тип соединения "М"
Sr-85
Sr-89
Sr-90
1,0E-01
1,0E-02
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
1,0E-08
1,0E-09
R(t, АМАД=1 мкм), Бк/Бк поступления
1
10
100
1000
Время после однократного поступления, сутки


Функции выведения Sr-85,89,90 с калом при ингаляции в стандартных условиях
Тип соединения "Б"
Sr-85
Sr-89
Sr-90
1,0E-01
1,0E-02
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
1,0E-08
1,0E-09
R(t, АМАД=1 мкм), Бк/Бк поступления
1
10
100
1000
Время после однократного поступления, сутки

Рутений

Функции выведения Ru-106 с мочой при ингаляции в стандартных условиях

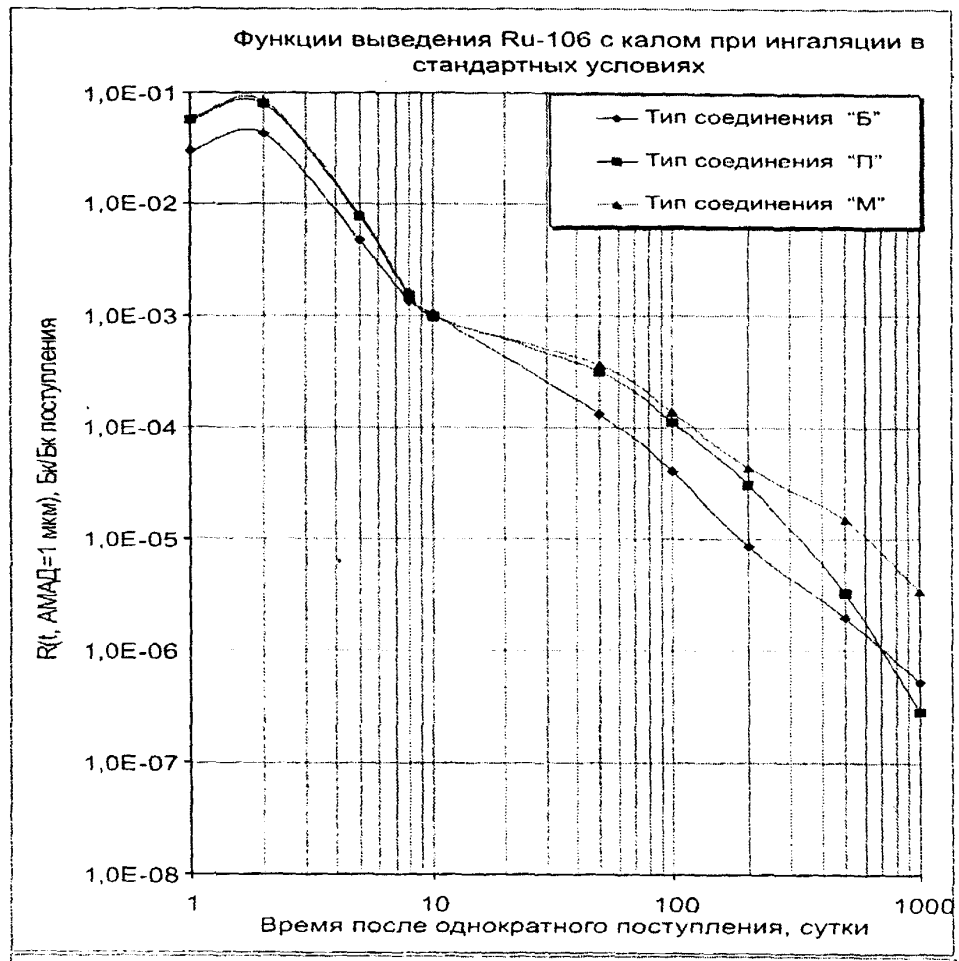
Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*		
	Тип соединения "Б"	Тип соединения "П"	Тип соединения "М"
1	2,9E-02	4,0E-03	1,2E-03
2	9,6E-03	1,6E-03	5,7E-04
5	5,3E-03	8,8E-04	2,7E-04
10	3,7E-03	6,9E-04	1,9E-04
20	1,9E-03	4,8E-04	1,2E-04
50	5,1E-04	2,6E-04	4,2E-05
100	1,6E-04	1,5E-04	1,8E-05
200	3,9E-05	6,4E-05	6,5E-06
500	7,6E-06	8,8E-06	2,3E-06
1000	2,1E-06	1,1E-06	6,2E-07

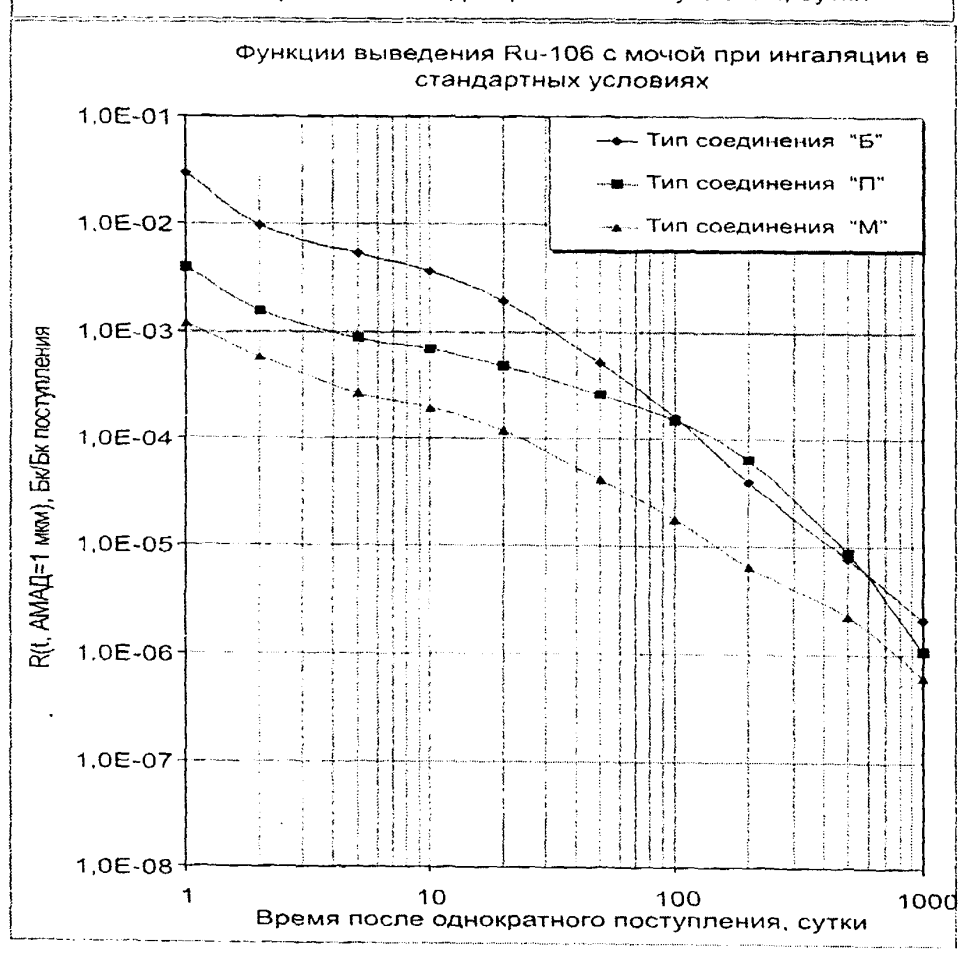
Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 1,5$.

Функции выведения Ru-106 с калом при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*		
	Тип соединения "Б"	Тип соединения "П"	Тип соединения "М"
1	3,0E-02	5,6E-02	5,9E-02
2	4,2E-02	8,0E-02	8,4E-02
5	4,7E-03	7,7E-03	8,0E-03
8	1,4E-03	1,5E-03	1,6E-03
10	1,1E-03	1,0E-03	9,9E-04
50	1,3E-04	3,2E-04	3,6E-04
100	4,1E-05	1,1E-04	1,4E-04
200	8,5E-06	3,1E-05	4,4E-05
500	2,0E-06	3,3E-06	1,5E-05
1000	5,3E-07	2,9E-07	3,4E-06

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 2,0$.


Функции выведения Ru-106 с калом при ингаляции в стандартных условиях
Тип соединения "Б"
Тип соединения "П"
Тип соединения "М"
1,0E-01
1,0E-02
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
1,0E-08
R(t, АМАД=1 мкм), Бк/Бк поступления
1
10
100
1000
Время после однократного поступления, сутки

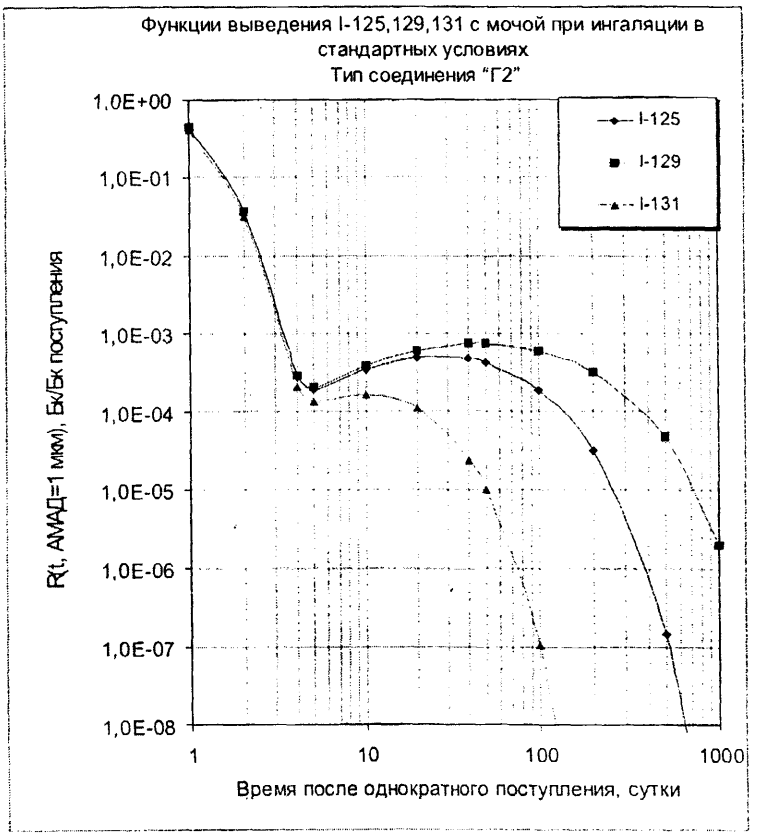

Функции выведения Ru-106 с мочой при ингаляции в стандартных условиях
Тип соединения "Б"
Тип соединения "П"
Тип соединения "М"
1,0E-01
1,0E-02
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
1,0E-08
R(t, АМАД=1 мкм), Бк/Бк поступления
1
10
100
1000
Время после однократного поступления, сутки

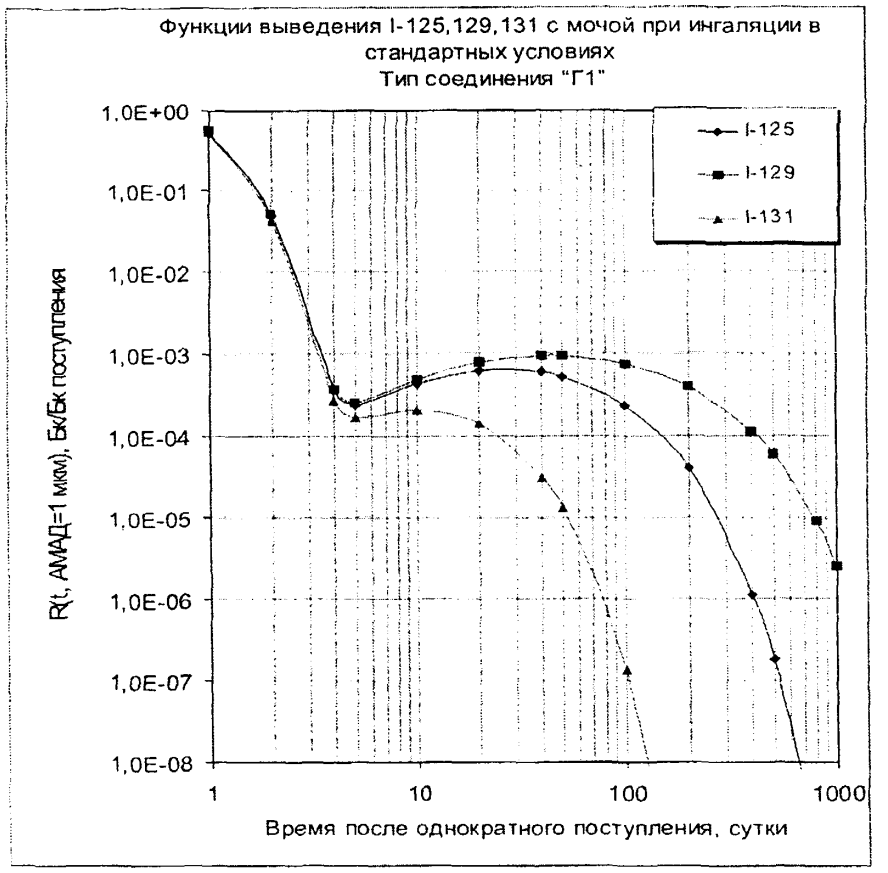
Йод

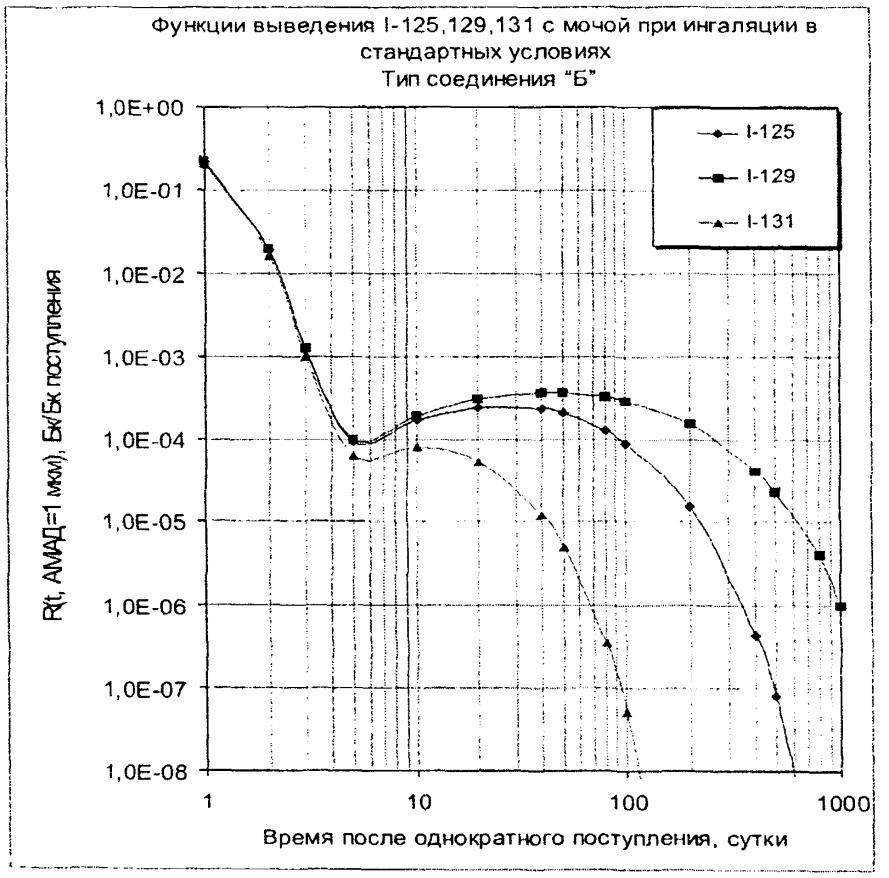
Функции выведения I-125,129,131 с мочой при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*			*R(t)*					
	Тип соединения "Б"			Тип соединения "Г1" Элементарный йод			Тип соединения "Г2" Метилиод CH_3I		
	I-125	**I-129**	**I-131**	**I-125**	**I-129**	**I-131**	**I-125**	**I-129**	**I-131**
1	2,2E-01	2,2E-01	2,0E-01	5,7E-01	5,8E-01	5,3E-01	4,5E-01	4,5E-01	4,1E-01
2	1,9E-02	2,0E-02	1,6E-02	4,9E-02	5,0E-02	4,2E-02	3,6E-02	3,7E-02	3,1E-02
4	1,3E-04	1,4E-04	9,0E-05	3,6E-04	3,8E-04	2,7E-04	2,8E-04	2,9E-04	2,1E-04
5	9,4E-05	9,9E-05	6,4E-05	2,4E-04	2,6E-04	1,7E-04	1,9E-04	2,0E-04	1,3E-04
10	1,7E-04	1,9E-04	8,0E-05	4,4E-04	4,9E-04	2,1E-04	3,4E-04	3,9E-04	1,6E-04
20	2,4E-04	3,0E-04	5,4E-05	6,3E-04	8,0E-04	1,4E-04	4,9E-04	6,1E-04	1,1E-04
40	2,3E-04	3,7E-04	1,2E-05	6,1E-04	9,6E-04	3,1E-05	4,7E-04	7,5E-04	2,4E-05
50	2,0E-04	3,7E-04	4,9E-06	5,3E-04	9,6E-04	1,3E-05	4,2E-04	7,5E-04	1,0E-05
100	9,0E-05	2,9E-04	5,2E-08	2,4E-04	7,5E-04	1,4E-07	1,8E-04	5,8E-04	1,1E-07
200	1,5E-05	1,5E-04	5,0E-12	4,0E-05	4,0E-04	1,3E-11	3,1E-05	3,1E-04	1,0E-11
400	4,3E-07	4,1E-05		1,1E-06	1,1E-04				
500	8,0E-08	2,3E-05		1,8E-07	6,0E-05		1,5E-07	4,7E-05	
800	3,4E-10	4,1E-06		8,8E-10	8,7E-06				
1000		9,8E-07			2,5E-06		1,9E-11	2,0E-06	

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 1,5$.



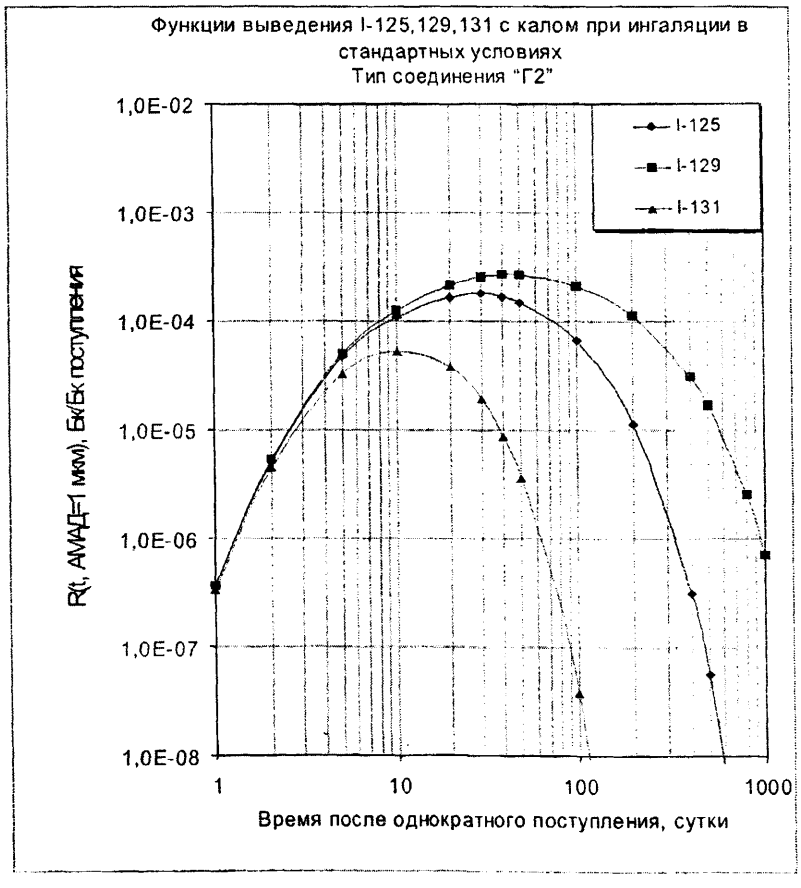

Функции выведения I-125,129,131 с мочой при ингаляции в стандартных условиях
Тип соединения "Г1"
1,0E+00
1,0E-01
1,0E-02
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
1,0E-08
R(t, AMAД=1 мкм), Бк/Бк поступления
1
10
100
1000
Время после однократного поступления, сутки
I-125
I-129
I-131

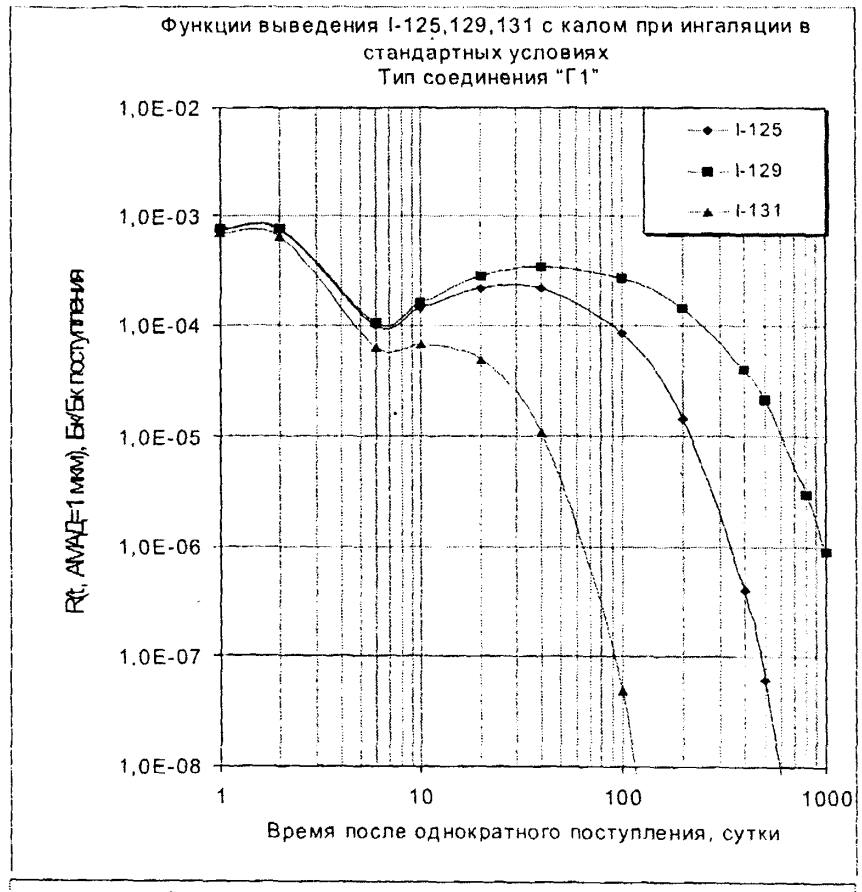

Функции выведения I-125,129,131 с мочой при ингаляции в стандартных условиях
Тип соединения "Б"
1,0E+00
1,0E-01
1,0E-02
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
1,0E-08
R(t, AMAД=1 мкм), Бк/Бк поступления
1
10
100
1000
Время после однократного поступления, сутки
I-125
I-129
I-131

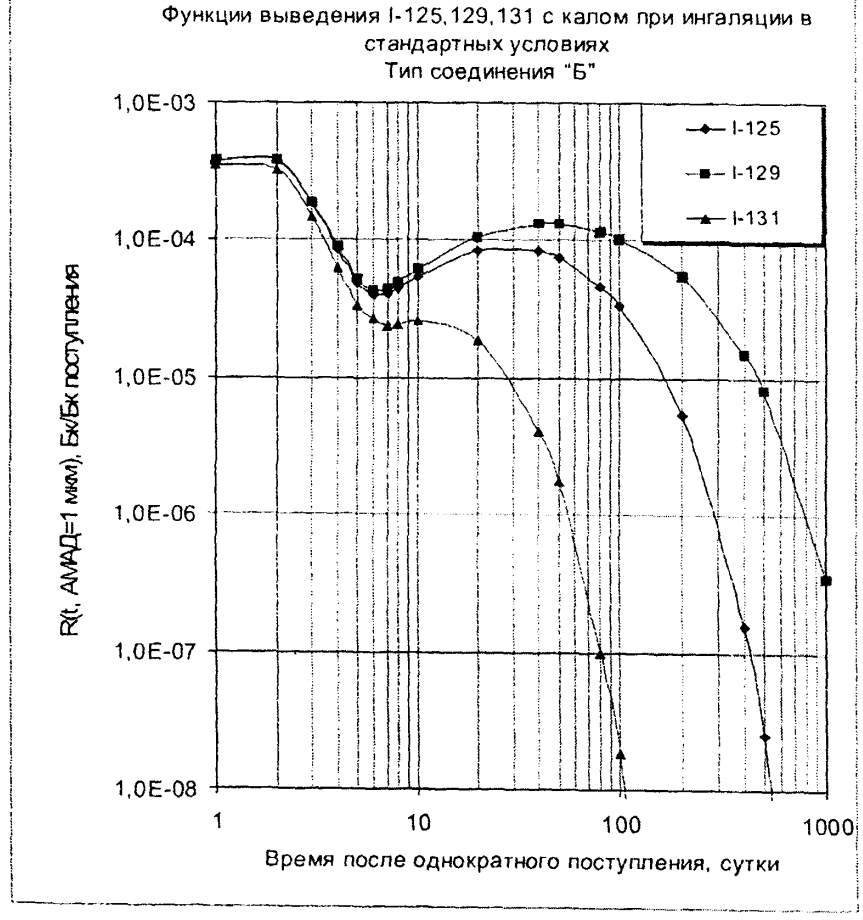
Функции выведения I-125,129,131 с калом при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*			*R(t)*					
	Тип соединения "Б"			Тип соединения "Г1" Элементарный йод			Тип соединения "Г2" Метилиод CH_3I		
	I-125	**I-129**	**I-131**	**I-125**	**I-129**	**I-131**	**I-125**	**I-129**	**I-131**
1	3,7E-04	3,8E-04	3,5E-04	7,4E-04	7,5E-04	6,9E-04	3,6E-07	3,7E-07	3,4E-07
2	3,8E-04	3,8E-04	3,2E-04	7,5E-04	7,7E-04	6,5E-04	5,1E-06	5,3E-06	4,4E-06
5	5,0E-05	5,2E-05	3,4E-05			7,8E-05	4,7E-05	5,0E-05	3,2E-05
6	4,0E-05	4,3E-05	2,7E-05	9,9E-05	1,1E-04	6,3E-05			
10	5,5E-05	6,1E-05	2,6E-05	1,4E-04	1,6E-04	6,7E-05	1,1E-04	1,2E-04	5,2E-05
20	8,4E-05	1,1E-04	1,9E-05	2,2E-04	2,8E-04	4,9E-05	1,7E-04	2,1E-04	3,8E-05
40	8,3E-05	1,3E-04	4,1E-06	2,2E-04	3,4E-04	1,1E-05	1,7E-04	2,7E-04	8,5E-06
50	7,5E-05	1,3E-04	1,8E-06				1,5E-04	2,7E-04	3,6E-06
100	3,4E-05	1,0E-04	1,9E-08	8,5E-05	2,7E-04	4,8E-08	6,6E-05	2,1E-04	3,8E-08
200	5,5E-06	5,5E-05	1,8E-12	1,4E-05	1,4E-04	4,7E-12	1,1E-05	1,1E-04	3,7E-12
400	1,6E-07	1,5E-05		4,0E-07	4,0E-05		3,1E-07	3,1E-05	
500	2,5E-08	8,3E-06		6,0E-08	2,2E-05		5,5E-08	1,7E-05	
1000	3,4E-12	3,5E-07			9,1E-07			7,1E-07	

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 2,0$.




Функции выведения I-125,129,131 с калом при ингаляции в стандартных условиях
Тип соединения "Г1"
I-125
I-129
I-131
1,0E-02
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
1,0E-08
1
10
100
1000
R(t, AMAД=1 мкм), Бк/Бк поступления
Время после однократного поступления, сутки

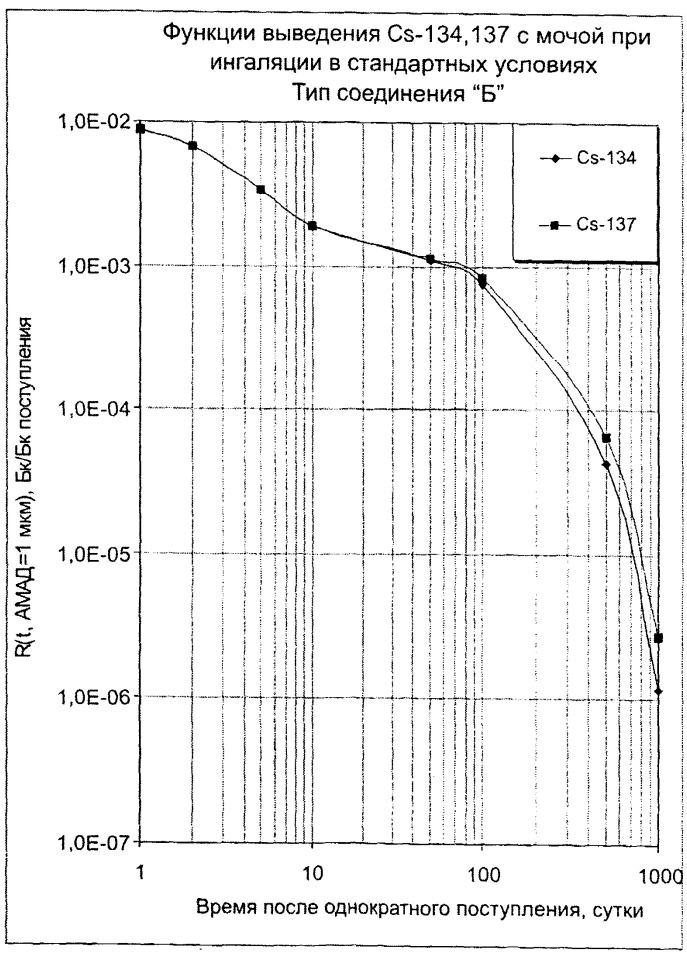

Функции выведения I-125,129,131 с калом при ингаляции в стандартных условиях
Тип соединения "Б"
I-125
I-129
I-131
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
1,0E-08
1
10
100
1000
R(t, AMAД=1 мкм), Бк/Бк поступления
Время после однократного поступления, сутки

Цезий

Функции выведения Cs-134,137 с мочой при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*	
	Тип соединения "Б"	
	Cs-134	**Cs-137**
1	8,8E-03	8,8E-03
2	6,7E-03	6,7E-03
5	3,4E-03	3,4E-03
10	1,9E-03	1,9E-03
50	1,1E-03	1,2E-03
100	7,7E-04	8,3E-04
500	4,3E-05	6,5E-05
1000	1,2E-06	2,7E-06

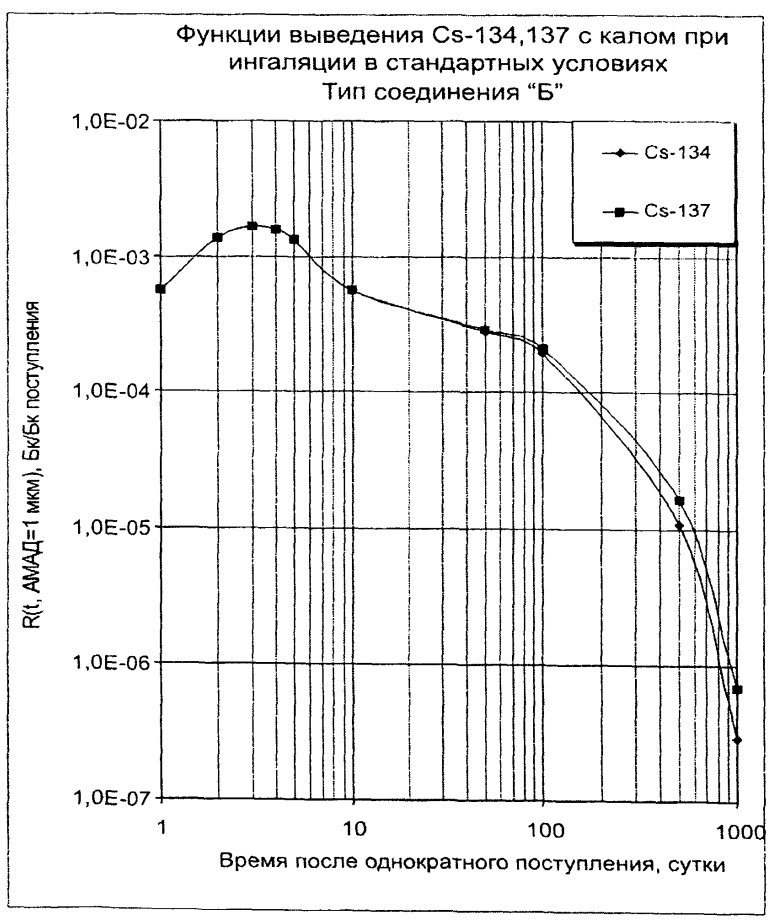
Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 1,5$.



Функции выведения Cs-134,137 с калом при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*	
	Тип соединения "Б"	
	Cs-134	**Cs-137**
1	5,6E-04	5,6E-04
2	1,4E-03	1,4E-03
3	1,7E-03	1,7E-03
4	1,6E-03	1,6E-03
5	1,4E-03	1,4E-03
10	5,6E-04	5,7E-04
50	2,8E-04	2,9E-04
100	1,9E-04	2,1E-04
500	1,1E-05	1,7E-05
1000	2,9E-07	6,9E-07

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 2,0$.

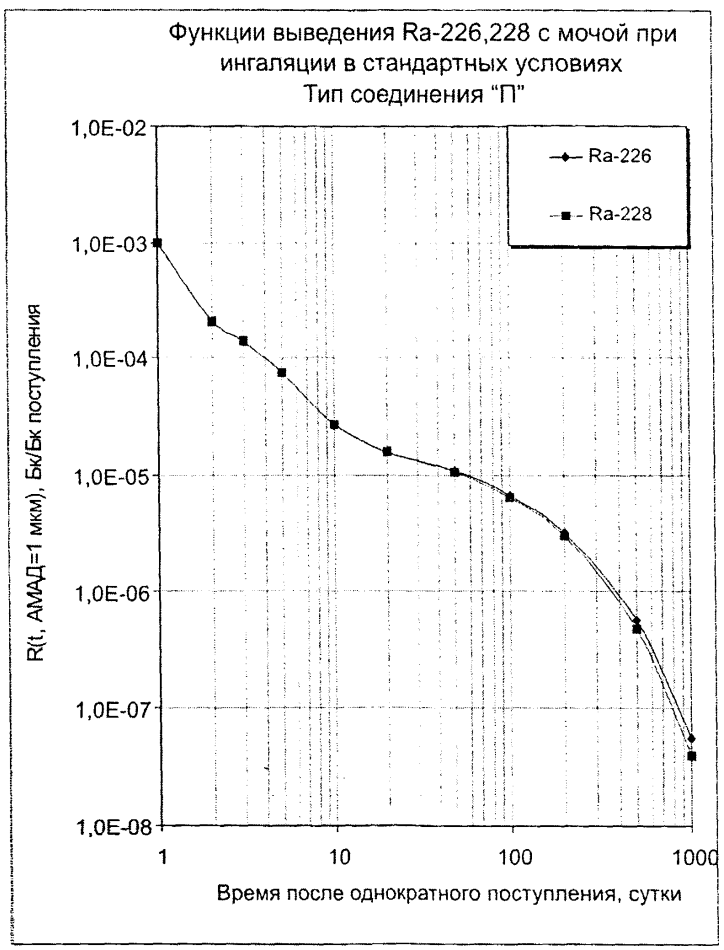


Радий

Функции выведения Ra-226,228 с мочой при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)* Тип соединения "П"	
	Ra-226	**Ra-228**
1	9,9E-04	9,9E-04
2	2,0E-04	2,0E-04
3	1,4E-04	1,4E-04
5	7,5E-05	7,5E-05
10	2,7E-05	2,7E-05
20	1,6E-05	1,6E-05
50	1,1E-05	1,1E-05
100	6,6E-06	6,4E-06
200	3,2E-06	3,0E-06
500	5,6E-07	4,7E-07
1000	5,5E-08	4,0E-08

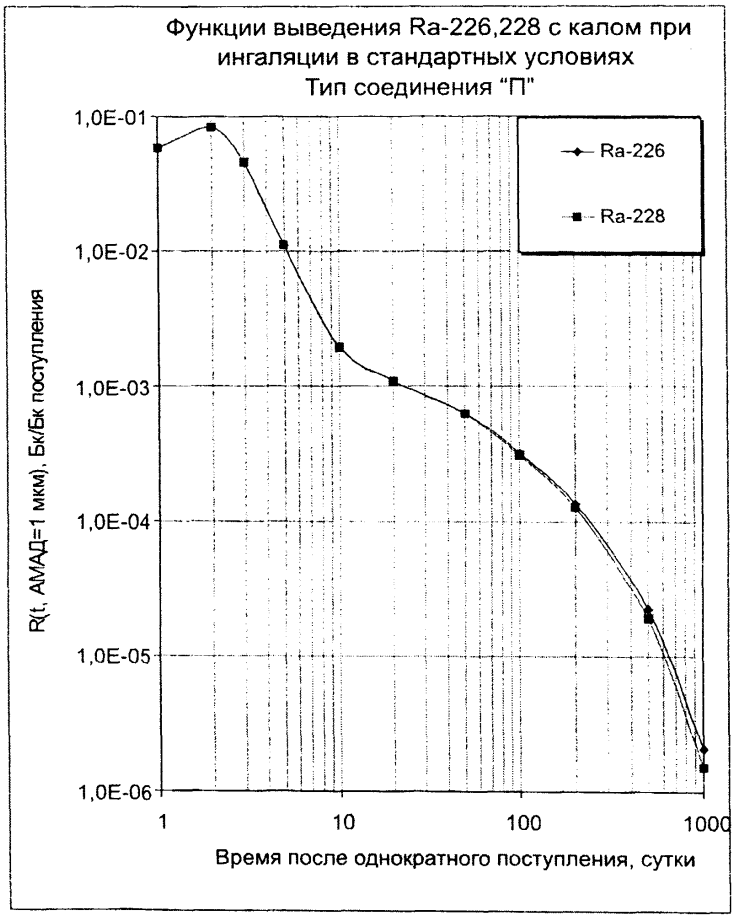
Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 2,0$.



Функции выведения Ra-226,228 с калом при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*	
	Тип соединения "П"	
	Ra-226	**Ra-228**
1	5,8E-02	5,8E-02
2	8,2E-02	8,2E-02
3	4,5E-02	4,5E-02
5	1,1E-02	1,1E-02
10	2,0E-03	2,0E-03
20	1,1E-03	1,1E-03
50	6,3E-04	6,2E-04
100	3,2E-04	3,1E-04
200	1,4E-04	1,3E-04
500	2,3E-05	1,9E-05
1000	2,1E-06	1,5E-06

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 5,0$.



Торий

Функции выведения Th-228,232 с мочой при ингаляции в стандартных условиях

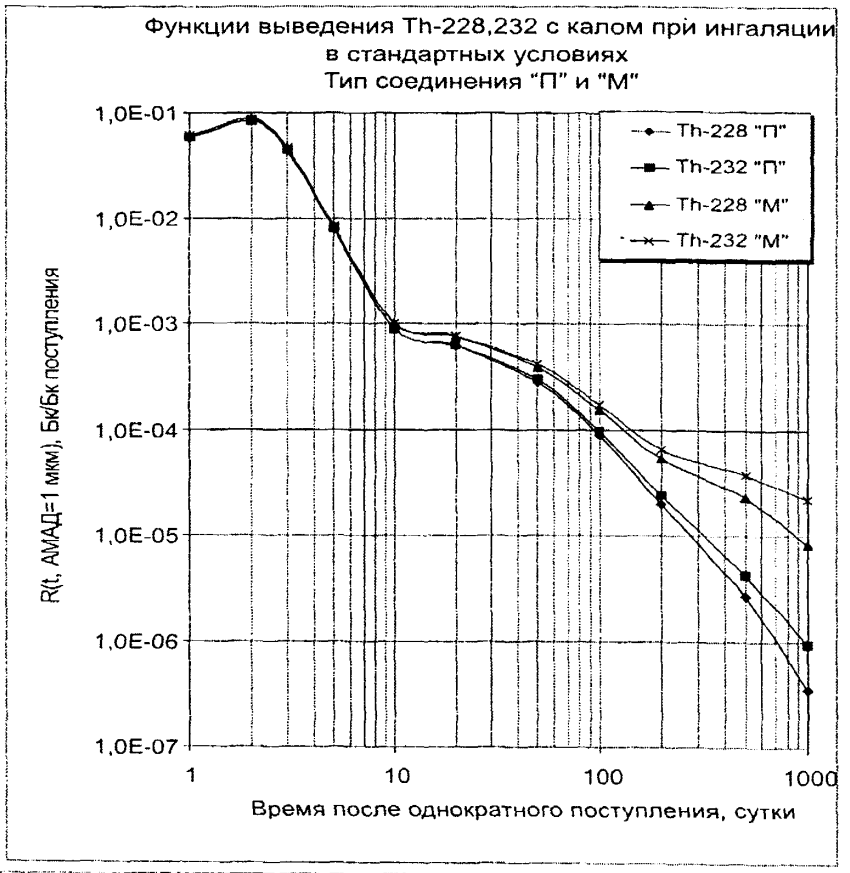
Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*			
	Тип соединения "П"		Тип соединения "М"	
	Th-228	**Th-232**	**Th-228**	**Th-232**
1	9,2E-04	9,2E-04	1,1E-05	1,1E-05
2	2,1E-04	2,1E-04	2,8E-06	2,8E-06
5	9,8E-05	9,8E-05	1,5E-06	1,5E-06
10	6,6E-05	6,7E-05	1,2E-06	1,2E-06
20	5,0E-05	5,1E-05	1,0E-06	1,0E-06
50	3,2E-05	3,4E-05	8,1E-07	8,5E-07
100	1,9E-05	2,1E-05	6,4E-07	7,0E-07
200	9,7E-06	1,2E-05	5,0E-07	6,1E-07
500	2,5E-06	4,0E-06	3,1E-07	5,1E-07
1000	8,3E-07	2,3E-06	1,5E-07	4,1E-07

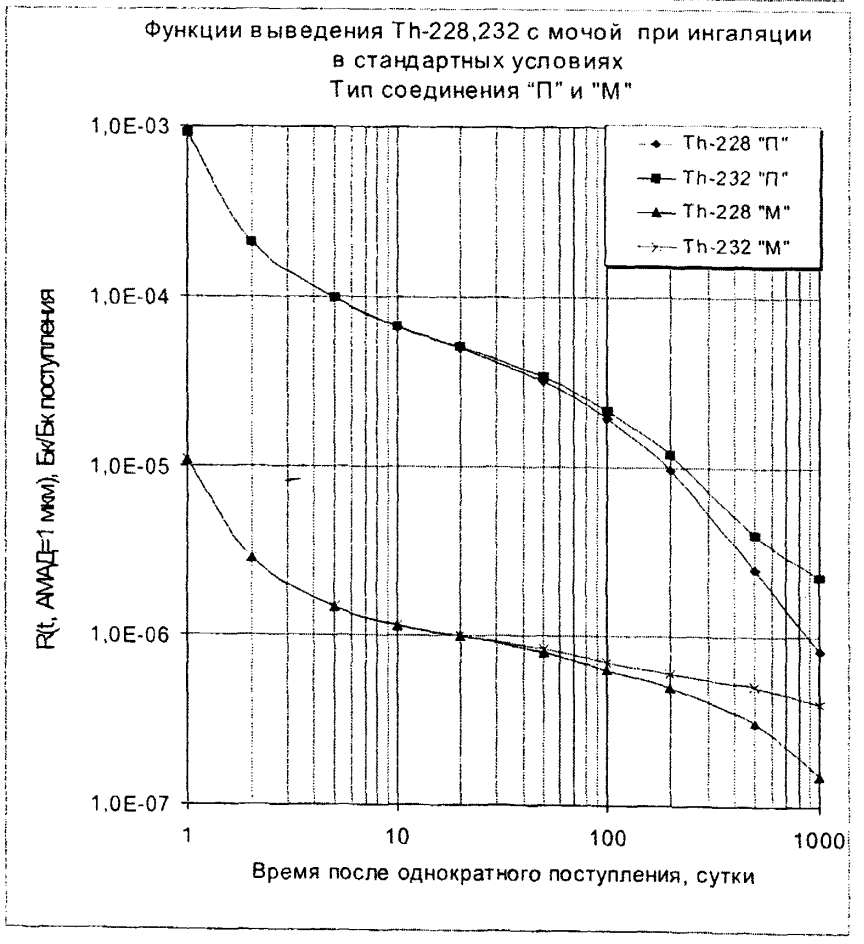
Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 2,0$.

Функции выведения Th-228,232 с калом при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*			
	Тип соединения "П"		Тип соединения "М"	
	Th-228	**Th-232**	**Th-228**	**Th-232**
1	5,8E-02	5,8E-02	6,1E-02	6,1E-02
2	8,4E-02	8,4E-02	8,8E-02	8,8E-02
3	4,4E-02	4,4E-02	4,6E-02	4,6E-02
5	7,9E-03	7,9E-03	8,4E-03	8,4E-03
10	8,7E-04	8,8E-04	9,9E-04	1,0E-03
20	6,2E-04	6,3E-04	7,5E-04	7,6E-04
50	2,8E-04	2,9E-04	3,9E-04	4,1E-04
100	8,9E-05	9,8E-05	1,6E-04	1,7E-04
200	2,0E-05	2,4E-05	5,4E-05	6,6E-05
500	2,7E-06	4,3E-06	2,3E-05	3,8E-05
1000	3,5E-07	9,4E-07	8,3E-06	2,2E-05

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 5,0$.


Функции выведения Th-228,232 с калом при ингаляции
в стандартных условиях
Тип соединения "П" и "М"
Th-228 "П"
Th-232 "П"
Th-228 "М"
Th-232 "М"
1,0E-01
1,0E-02
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
R(t, АМАД=1 мкм), Бк/Бк поступления
1
10
100
1000
Время после однократного поступления, сутки

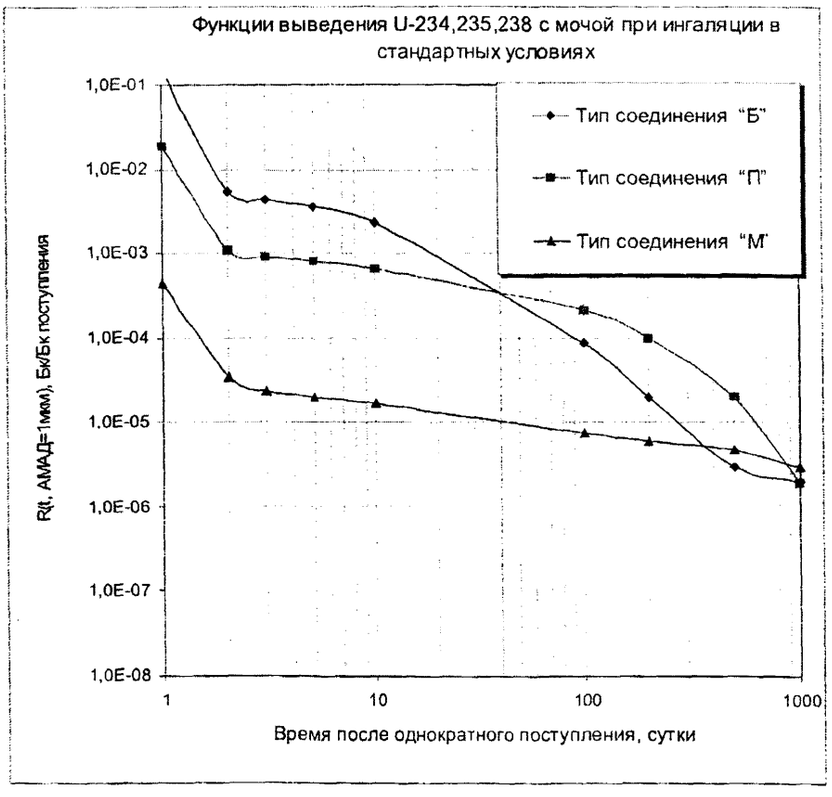

Функции выведения Th-228,232 с мочой при ингаляции
в стандартных условиях
Тип соединения "П" и "М"
Th-228 "П"
Th-232 "П"
Th-228 "М"
Th-232 "М"
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
R(t, АМАД=1 мкм), Бк/Бк поступления
1
10
100
1000
Время после однократного поступления, сутки

Уран

Функции выведения U-234,235,238 с мочой при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*			
	Тип соединения "Б"	Тип соединения "П"	Тип соединения "М"	UO_2, U_3O_8
1	1,6E-01	1,9E-02	4,4E-04	2,3E-03
2	5,4E-03	1,1E-03	3,4E-05	1,6E-04
3	4,3E-03	9,0E-04	2,3E-05	1,4E-04
5	3,6E-03	8,0E-04	2,0E-05	1,3E-04
10	2,3E-03	6,5E-04	1,7E-05	1,1E-04
100	8,5E-05	2,1E-04	7,5E-06	5,9E-05
200	2,0E-05	1,0E-04	6,1E-06	4,6E-05
500	2,9E-06	2,0E-05	4,7E-06	2,9E-05
1000	2,0E-06	1,9E-06	3,0E-06	1,3E-05

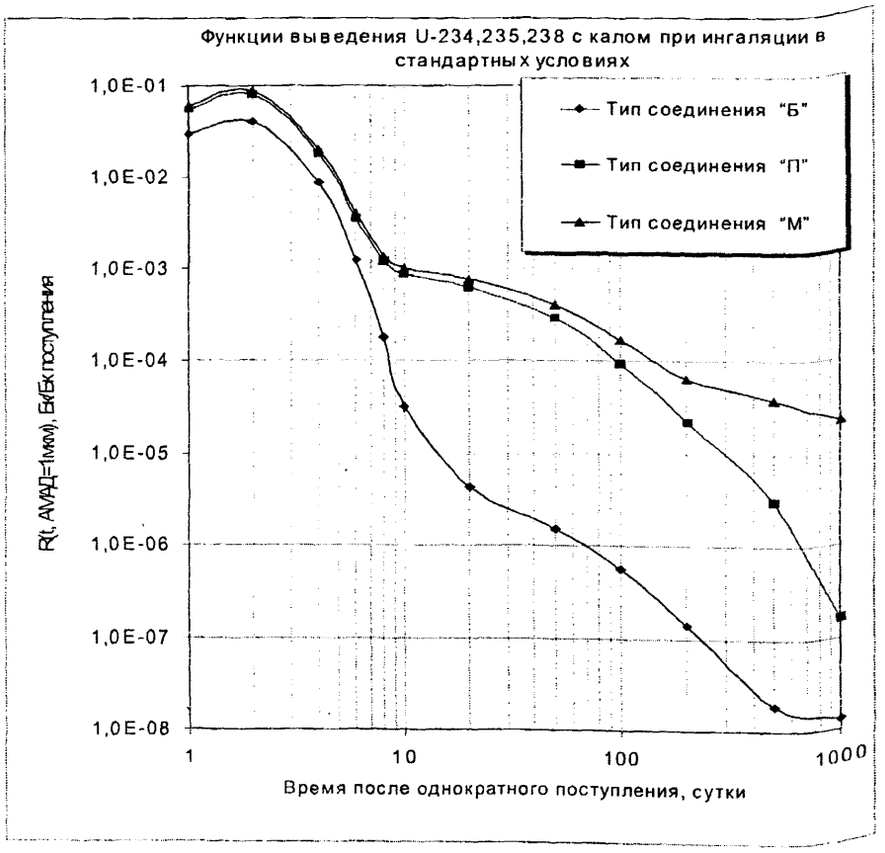
Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 2,0$.



Функции выведения U-234,235,238 с калом при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*			
	Тип соединения "Б"	Тип соединения "П"	Тип соединения "М"	UO_2, U_3O_8
1	3,0E-02	5,7E-02	6,1E-02	4,9E-02
2	4,1E-02	8,2E-02	8,8E-02	7,6E-02
4	8,5E-03	1,9E-02	2,0E-02	1,8E-02
6	1,3E-03	3,5E-03	4,0E-03	3,6E-03
8	1,8E-04	1,2E-03	1,4E-03	1,4E-03
10	3,2E-05	8,6E-04	1,0E-03	1,1E-03
20	4,3E-06	6,2E-04	7,6E-04	8,4E-04
50	1,5E-06	2,9E-04	4,1E-04	4,5E-04
100	5,6E-07	9,5E-05	1,7E-04	1,8E-04
200	1,4E-07	2,2E-05	6,5E-05	6,5E-05
500	1,9E-08	3,0E-06	3,8E-05	3,0E-05
1000	1,3E-08	1,6E-07	2,2E-05	1,3E-05
1	3,0E-02	5,7E-02	6,1E-02	4,9E-02

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 5,0$.

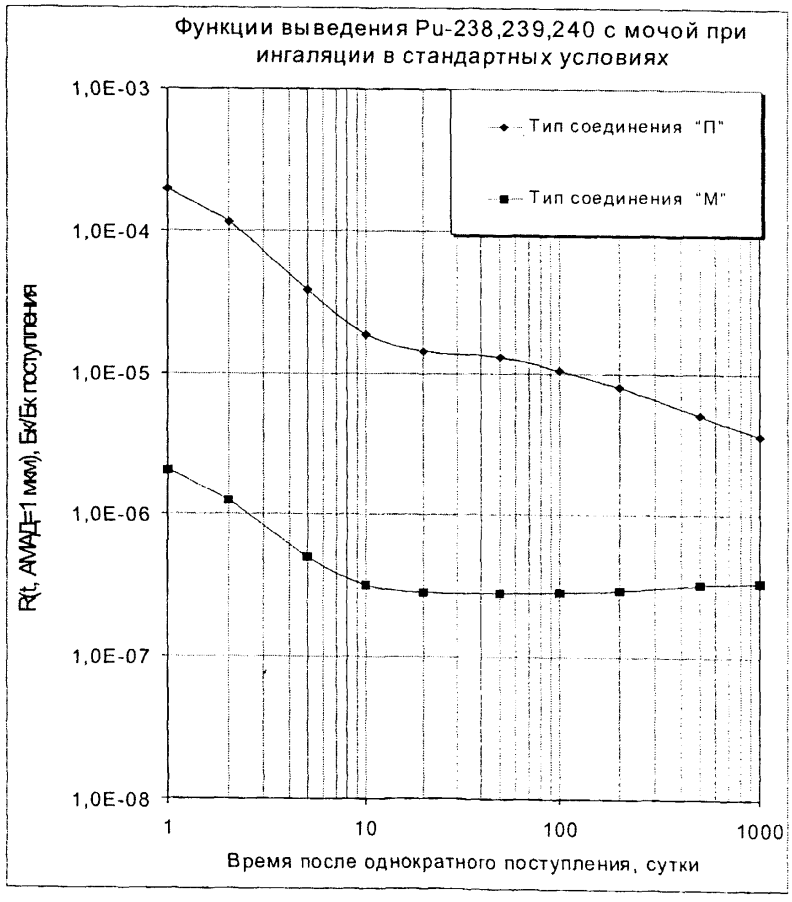


Плутоний

Функции выведения Pu-238,239,240 с мочой при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*	
	Тип соединения "П"	Тип соединения "М"
1	2,0E-04	2,0E-06
2	1,2E-04	1,2E-06
5	3,8E-05	5,0E-07
10	1,9E-05	3,2E-07
20	1,4E-05	2,9E-07
50	1,3E-05	2,8E-07
100	1,1E-05	2,9E-07
200	8,0E-06	3,0E-07
500	5,0E-06	3,3E-07
1000	3,6E-06	3,4E-07

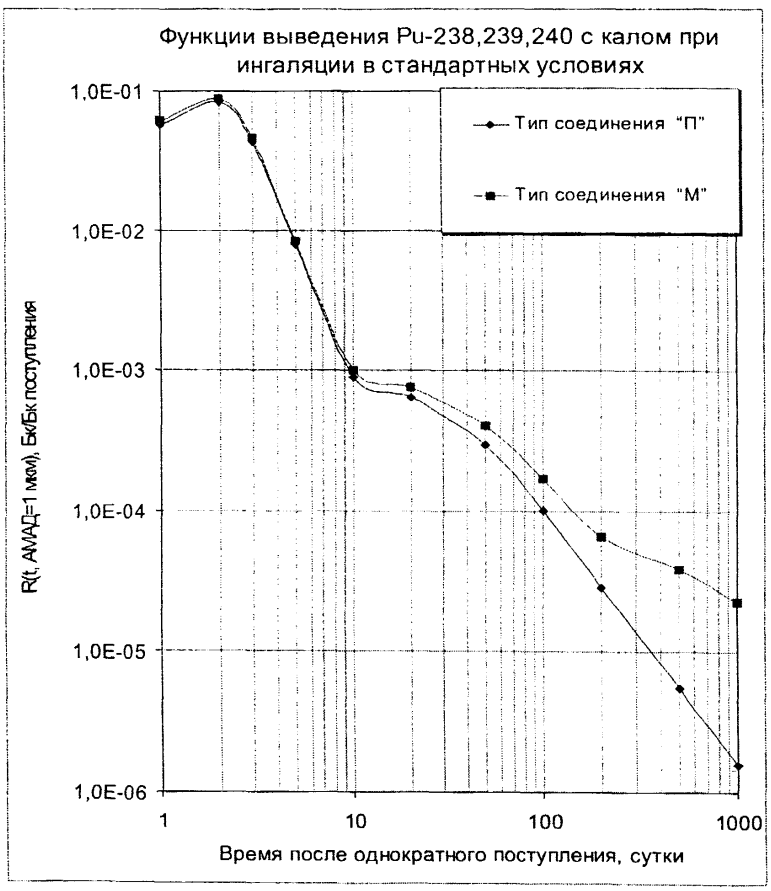
Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 2,0$.



Функции выведения Pu-238,239,240 с калом при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*	
	Тип соединения "П"	Тип соединения "М"
1	5,8E-02	6,1E-02
2	8,4E-02	8,8E-02
3	4,4E-02	4,6E-02
5	8,0E-03	8,4E-03
10	8,9E-04	1,0E-03
20	6,4E-04	7,6E-04
50	3,0E-04	4,1E-04
100	1,0E-04	1,7E-04
200	2,8E-05	6,6E-05
500	5,5E-06	3,8E-05
1000	1,6E-06	2,2E-05

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 5,0$.

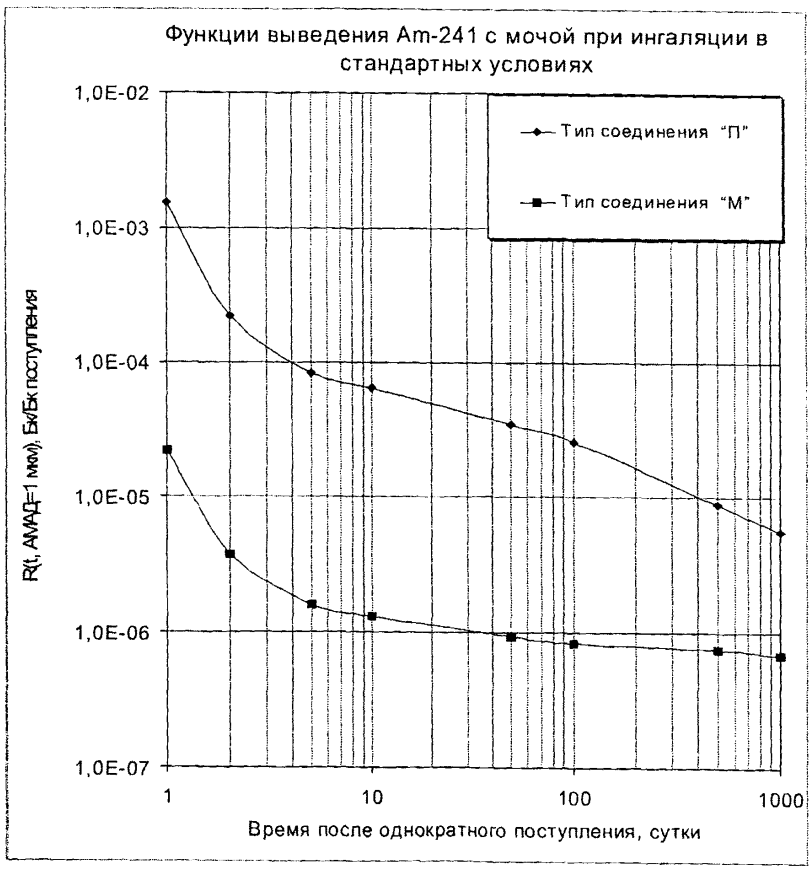


Америций

Функции выведения Am-241 с мочой при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*	
	Тип соединения "П"	Тип соединения "М"
1	1,5E-03	2,2E-05
2	2,2E-04	3,8E-06
5	8,3E-05	1,6E-06
10	6,4E-05	1,3E-06
50	3,5E-05	9,4E-07
100	2,6E-05	8,4E-07
500	9,0E-06	7,6E-07
1000	5,6E-06	6,9E-07

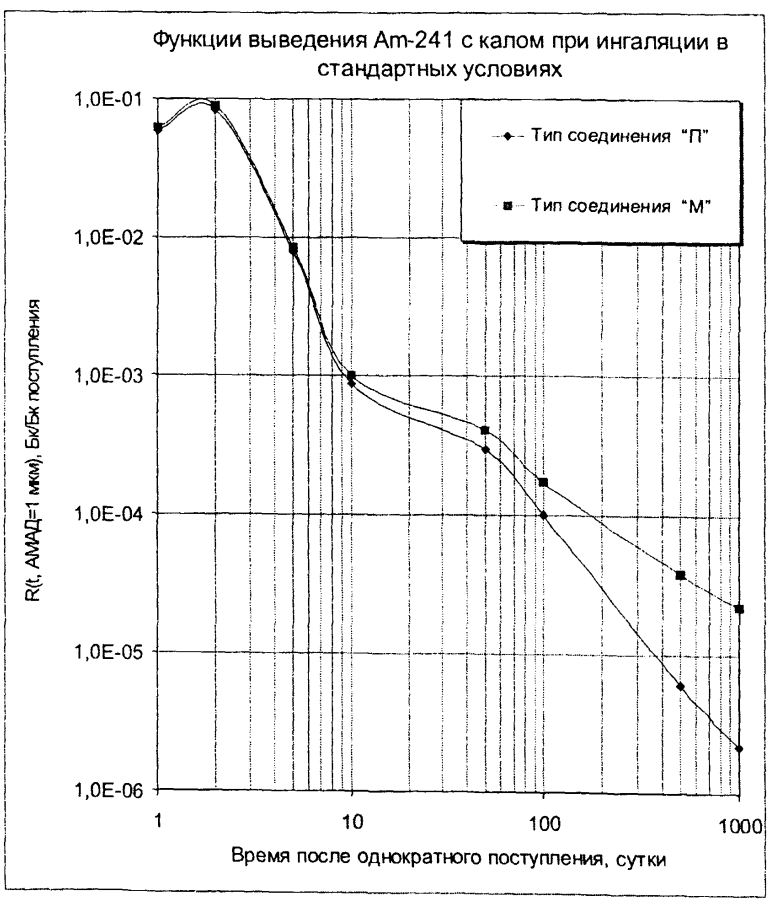
Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 2,0$.



Функции выведения Am-241 с калом при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)*	
	Тип соединения "П"	Тип соединения "М"
1	5,8E-02	6,1E-02
2	8,4E-02	8,8E-02
5	7,9E-03	8,4E-03
10	8,8E-04	1,0E-03
50	3,0E-04	4,1E-04
100	1,0E-04	1,7E-04
500	6,0E-06	3,8E-05
1000	2,2E-06	2,2E-05

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 5,0$.



Нептуний, кюрий и калифорний

Функции выведения Np-237, Cm-242,244 и Cf-252 с мочой при ингаляции в стандартных условиях

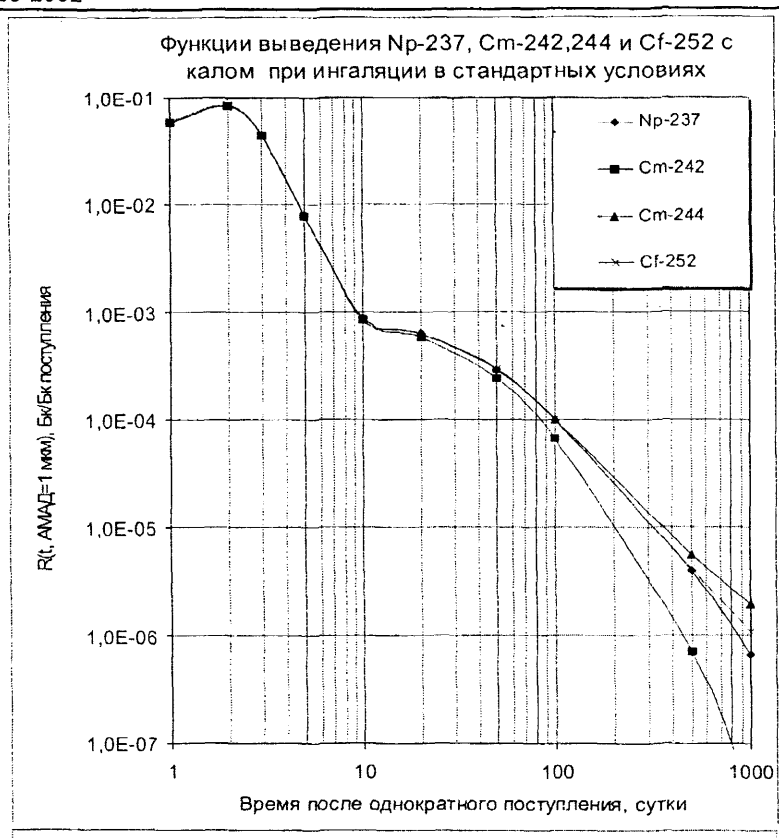
Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)* Тип соединения "П"			
	Np-237	**Cm-242**	**Cm-244**	**Cf-252**
1	5,4E-03	1,5E-03	1,5E-03	1,1E-03
2	1,2E-03	2,2E-04	2,2E-04	1,2E-04
3	7,0E-04	1,2E-04	1,2E-04	3,3E-05
5	3,8E-04	8,1E-05	8,3E-05	2,6E-05
10	2,0E-04	6,1E-05	6,4E-05	2,5E-05
20	1,6E-04	4,6E-05	5,0E-05	2,2E-05
50	1,1E-04	2,8E-05	3,5E-05	1,6E-05
100	7,8E-05	1,7E-05	2,6E-05	1,1E-05
200	4,5E-05	7,0E-06	1,7E-05	6,0E-06
500	1,4E-05	1,1E-06	8,5E-06	2,1E-06
1000	6,9E-06	8,0E-08	5,1E-06	1,0E-06

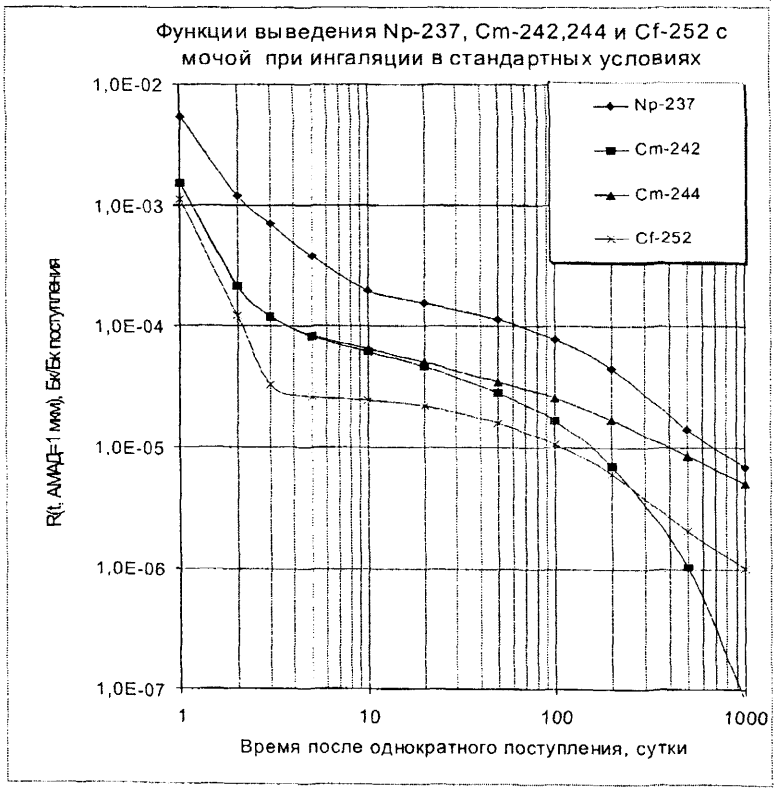
Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 2,0$.

Функции выведения Np-237, Cm-242,244 и Cf-252 с калом при ингаляции в стандартных условиях

Время, прошедшее после однократного поступления, сутки	*R (t, АМАД = 1 мкм)* Тип соединения "П"			
	Np-237	**Cm-242**	**Cm-244**	**Cf-252**
1	5,8E-02	5,8E-02	5,8E-02	5,8E-02
2	8,4E-02	8,3E-02	8,4E-02	8,4E-02
3	4,4E-02	4,3E-02	4,4E-02	4,4E-02
5	7,9E-03	7,8E-03	7,9E-03	8,0E-03
10	8,8E-04	8,4E-04	8,8E-04	8,9E-04
20	6,3E-04	5,8E-04	6,3E-04	6,4E-04
50	2,9E-04	2,4E-04	3,0E-04	3,0E-04
100	9,8E-05	6,6E-05	9,9E-05	1,0E-04
500	3,9E-06	7,0E-07	5,6E-06	4,1E-06
1000	6,6E-07	3,1E-08	2,0E-06	1,1E-06

Значения параметров случайной переменной f: $x_g = 1$; $\sigma_g = 5,0$.


Функции выведения Np-237, Cm-242,244 и Cf-252 с калом при ингаляции в стандартных условиях
1,0E-01
1,0E-02
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
R(t, AMAД=1 мкм), Бк/Бк поступления
1
10
100
1000
Время после однократного поступления, сутки
Np-237
Cm-242
Cm-244
Cf-252


Функции выведения Np-237, Cm-242,244 и Cf-252 с мочой при ингаляции в стандартных условиях
1,0E-02
1,0E-03
1,0E-04
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
R(t, AMAД=1 мкм), Бк/Бк поступления
1
10
100
1000
Время после однократного поступления, сутки
Np-237
Cm-242
Cm-244
Cf-252

8.3. Приложение 3

Пример расчета индивидуального поступления радионуклида и ОЭД

Рассмотрим процедуру расчета индивидуального поступления радионуклида и ОЭД на примере ингаляционного поступления плутония в организм персонала в течение 5 лет от начала работы (начала потенциального поступления).

Для простоты расчета (вручную) предположим, что поступление плутония в виде малорастворимых соединений (тип «М») аэрозоля с АМАД = 1 мкм происходило однократными порциями в середине каждого года в размере 1333 Бк каждая. При этом измерения плутония в моче проводили в конце каждого года (не обязательно точно), например, на 315, 730, 1095, 1460 и 1825-е сутки от начала работы. При таком поступлении активность плутония в суточном количестве мочи в соответствии с моделью (для среднего человека) должна иметь значения:

Период контроля	Дата измерения Pu в моче, сутки (от начала работы)	Активность Pu в суточном количестве мочи, мБк
1	315	0,41
2	730	0,85
3	1095	1,29
4	1460	1,73
5	1825	2,16

Однако в действительности, даже если человек, полностью соответствует средним параметрам (выведения), при определении радионуклида в моче имеются две составляющие неопределенности:

1. Статистическая погрешность определения активности радионуклида в измеряемом образце.

2. Неопределенность, связанная с биологической вариабельностью выведения радионуклида с мочой.

Результатом этих неопределенностей является то, что в приведенном примере ингаляционного поступления плутония реальные результаты измерений плутония в моче человека (соответствующего средним параметрам выведения) будут заметно отличаться от точных значений, например, они будут такими как показано на рисунке 1:

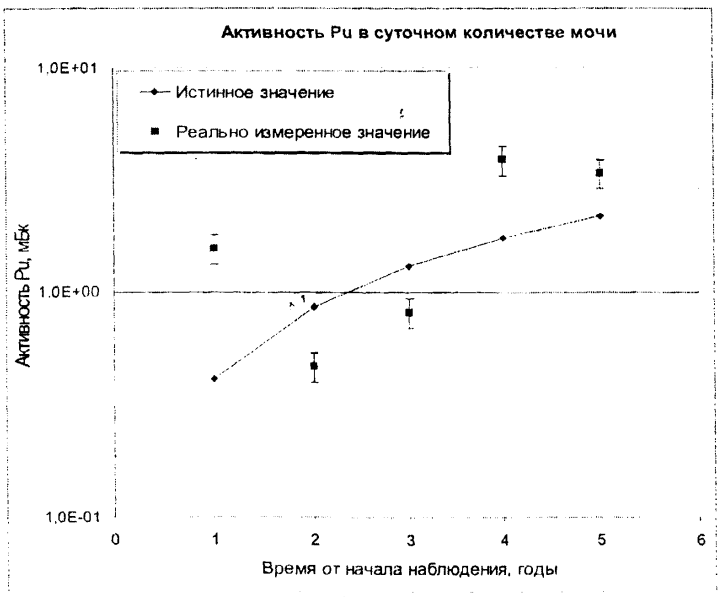


Рисунок 1.

Из рисунка 1 видно, что измеренные значения активности плутония в моче значительно (в несколько раз) отличаются от истинных значений, отклоняясь от них в ту или иную сторону. При этом статистическая погрешность определения активности в измеряемом образце, как правило, существенно меньше вариабельности коэффициента выведения. Таким образом, реальные результаты измерения активности плутония в моче (исходные данные для расчета) могут иметь вид:

1. A1(t=315) = (1,5 ± 0,3) мБк/сутки
2. A2(t=730) = (0,47 ± 0,1) мБк/сутки
3. A3(t=1095) = (0,81 ± 0,2) мБк/сутки
4. A4(t=1460) = (3,9 ± 0,6) мБк/сутки
5. A5(t=1825) = (3,3 ± 0,5) мБк/сутки

Расчет значений поступлений радионуклида за год и соответствующих ОЭД по приведенной выше стандартной модели состоит в следующем:

1. В каждом периоде контроля задают дату (число в сутках, t, от начала работы) однократного поступления радионуклида (которая является случайной величиной в соответствии с п.5.4). В таблице 1 представлены интервалы времени между датой поступления (случайной величиной) и датой измерения, соответствующего j-ому периоду контроля (T1-t, T2-t и так далее).

Таблица 1.

Период контроля	*T1-t*	*T2-t*	*T3-t*	*T4-t*	*T5-t*
1	35	447	810	1175	1543
2		282	645	1010	1378
3			323	688	1056
4				302	670
5					73

2. Соответственно интервалам (T1-t, T2-t и т. д.) вычисляют значения функции выведения R(T1-t) и т. д.

Таблица 2.

Период контроля	*R(T1-t)*	*R(T2-t)*	*R(T3-t)*	*R(T4-t)*	*R(T5-t)*
1	2,8E-07	3,3E-07	3,3E-07	3,3E-07	3,2E-07
2		3,2E-07	3,3E-07	3,3E-07	3,2E-07
3			3,2E-07	3,3E-07	3,3E-07
4				3,2E-07	3,3E-07
5					2,9E-07

3. Рассчитывают случайные значения измеренной активности A_j и коэффициента f_j (в соответствии с п.5.4) для каждого периода контроля (j=1,2,..,5) и соответствующие поступления и ОЭД (за период контроля):

Таблица 3.

Период контроля	A_j, мБк/сутки	f_j	$П_j$, Бк	E_j, мЗв	$\Sigma П_j$, Бк	ΣE_j, мЗв
1	1,08	0,57	6691	99,3	6691	99,3
2	0,46	0,38	-3066	-45.5	3625	53,8
3	0,79	0,52	901	13,4	4526	67,2
4	3,5	2,2	369	54,9	4896	72,7
5	2,95	1,07	4052	60,2	8945	132,9

4. Рассчитывают годовые и соответствующие суммарные поступления и ОЭД по формулам (в соответствии с п.5.6):

$П_1$ = П1+(50/365)·П2; $П_2$ = (1–50/365)·П2; $П_3$= П3; $П_4$= П4; $П_5$= П5

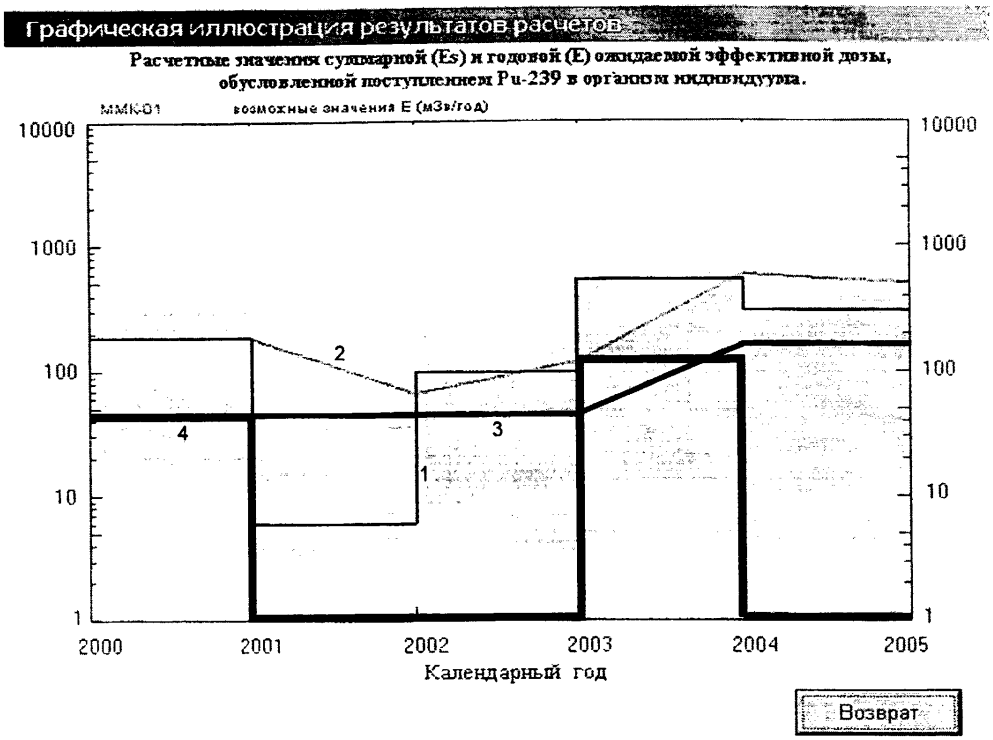
E_1 = E1+(50/365)·E2; E_2 =(1–50/365)·E2; E_3= E3; E_4= E4; E_5= E5

Таблица 4.

Календарный год	2000	2001	2002	2003	2004
$П_i$, Бк	6271	-2646	901	369	4052
E_i, мЗв	93,06	-39,27	13,4	54,9	60,2
$\Sigma П_i$, Бк	6271	3625	4526	4896	8945
ΣE_i, мЗв	93,06	53,8	67,2	72,7	132,9

5. Повторяют процедуру расчета по пп.1-4 многократно (в рассмотренном примере N = 500), получая массивы значений $\{\Pi_{iN}\}$; $\{E_{iN}\}$ и $\{\Sigma\Pi_{iN}\}$; $\{\Sigma E_{iN}\}$. На рисунке 2 для иллюстрации показан массив значений $\{E_{iN}$ - серые линии$\}$, полученный с помощью программы ММК-01:

Рисунок 2.



	2000	2001	2002	2003	2004
Em, мЗв/год	5,3E01	0,0E00	0,0E00	1,6E02	0,0E00
E50, мЗв/год	4,4E01	0,0E00	0,0E00	1,2E02	0,0E00
E95 (U/E), отн.ед	1,9E02 (3,3)	6,0E00	9,6E01	5,3E02 (3,3)	3,1E02
Esm, мЗв	5,3E01	5,3E01	5,3E01	2,1E02	2,1E02
Es50, мЗв	4,4E01	4,4E01	4,4E01	1,7E02	1,7E02
Es95 (Us/Es), отн.ед	1,9E02 (3,3)	6,8E01 (0,5)	1,2E02 (1,7)	5,9E02 (2,6)	5,0E02 (2,0)

6. Находят средние значения годовых и соответствующих суммарных поступлений и ОЭД: $\Pi_i = <\Pi_{iN}>$ и $E_i = <E_{iN}>$; $\Sigma\Pi_i = <\Sigma\Pi_{iN}>$ и $\Sigma E_i = <\Sigma E_{iN}>$.

7. Находят медианные и верхние границы интервала, в который попадают 95 % результатов значений $\{\Pi_{iN}\}$; $\{E_{iN}\}$ и $\{\Sigma\Pi_{iN}\}$; $\{\Sigma E_{iN}\}$ годовых и сответствующих суммарных поступлений и ОЭД: Π_{i50}; Π_{i95}; $\Sigma\Pi_{i50}$; $\Sigma\Pi_{i95}$ и E_{i50}; E_{i95}; ΣE_{i50}; ΣE_{i95}. Значения E_{i95} и ΣE_{i95} также представлены на рис.2 в таблице и в графическом виде (E_{i95} - линия 1; ΣE_{i95} - линия 2).

8. Находят «наилучшие» средние и медианные значения $\Sigma\Pi_{im}$; ΣE_{im} и $\Sigma\Pi_{i50}$; ΣE_{i50} в соответствии с п.5.5:

ΣE_{2m} (=24,3 мЗв) < ΣE_{2m}(=83,7 мЗв) → ΣE_{2m} = (24,3+83,7)/2=54,0 мЗв

ΣE_{3m} (=50,7 мЗв) < ΣE_{2m}(=54,0 мЗв) → ΣE_{3m} = (24,3+83,7+50,7)/3=52,9 мЗв

Полиграфучасток ГП «ВНИИФТРИ»
Зак. №190 Тир.200

gost.e-ecolog.ru