

УДК 546.799.4:572.025

© 1995 г.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И РИТМА НАКОПЛЕНИЯ ПЛУТОНИЯ У НАСЕЛЕНИЯ ЗОНЫ НАБЛЮДЕНИЯ

К.Г.Суслова, В.Ф.Хохряков
Россия, Озерск, ФИБ №1

По результатам многолетних посмертных исследований поведение в организме плутония, присутствующего в ультрамалых количествах у населения зоны наблюдения, имеет некоторые особенности по сравнению с поведением радионуклида в организме у лиц из персонала. Важным фактором, определяющим динамику накопления в организме и распределения Pu между легкими и внелегочным пулом является срок проживания в зоне наблюдения. Относительное содержание радионуклида в легких и легочных лимфоузлах убывает с увеличением длительности проживания; между скелетом и печенью Pu перераспределяется в соотношении 3:1. С начала 50-х годов содержание радионуклида в организме росло линейно с постоянной скоростью, около 0.11 Бк/год. У людей, проживших около 40 лет в городе, оно составило в начале 90-х годов 4.2 Бк, что почти в 40 раз выше, по сравнению с уровнем накопления Pu глобального происхождения. Прирост содержания со временем приводит к заключению, что в долгосрочной перспективе фактор накопления Pu в организме у населения зоны наблюдения может рассматриваться как наиболее значимый источник внутреннего облучения техногенного происхождения.

Повышенное сравнительно с глобальным уровнем содержание плутония в организме у людей, проживающих в зоне наблюдения ПО "Маяк", делает изучение текущих и прогнозируемых оценок накопления радионуклида актуальной задачей радиационной гигиены. Современные методы дозиметрии из-за недостаточной чувствительности не позволяют прижизненно определять содержание плутония у населения, не имеющего профессионального контакта с радионуклидом. Эти оценки, как правило, выполняются на основе данных радиохимического анализа образцов органов и тканей, взятых при вскрытии умерших жителей региона. Посмертные исследования уровней накопления радионуклидов у населения зоны предполагаемого влияния ПО "Маяк" проводятся в Филиале №1 ИБФ около двадцати лет и в результате этих исследований наряду с повышенным содержанием плутония в органах и тканях было выявлено несоответствие

общепринятых биокинетических моделей наблюдаемому процессу обмена радионуклида в организме.

В настоящей статье представлены результаты многолетних посмертных исследований динамики накопления и перераспределения плутония в организме у лиц, проживающих в зоне наблюдения радиохимического предприятия ПО "Маяк", и обсуждается вопрос об особенностях обмена ультрамалых количеств плутония в организме человека.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Содержание и распределение Pu в организме у взрослого населения зоны наблюдения исследовали в 1975-1994 гг. по результатам посмертной радиометрии примерно 1400 образцов мягких тканей и различных костей, взятых при вскрытии 160 умерших жителей г.Озерск. Распределение радионуклида между легкими и внелегочной частью организма в зависимости от

длительности поступления проанализировано у взрослых людей с разными сроками проживания в городе (106 случаев, из них в 81 случае исследовано накопление в легких и лимфоузлах). При изучении распределения во внелегочном пуле учитывали данные патологоанатомического анализа - характер и степень выраженности различных морфологических изменений печеночной ткани.

Все исследованные случаи были подразделены на 2 группы по следующим признакам:

1) слабо выраженные дистрофические изменения (белковая дистрофия) печеночных клеток, обнаруживаемые, как правило, у относительно здоровых людей, погибших в результате несчастных случаев (42 случая из 106);

2) резко выраженные признаки белковой и жировой дистрофии гепатоцитов, связанные с хронической интоксикацией этиловым спиртом и с такими заболеваниями, как лейкозы, цирроз и рак печени, сахарный диабет и др. (64 случая из 106).

Возрастная зависимость концентрации Pu в органах изучена на 215 случаях (152 ребенка - 30 проб детей мертворожденных, новорожденных и до 17 лет; 63 взрослых людей), в которых при вскрытии не были обнаружены ярко выраженные морфологические изменения в печени, что могло бы повлиять на перераспределение радионуклида между скелетом и печенью.

Методика радиохимического анализа подробно изложена в [4]. Измерения выделенных препаратов Pu проводили двумя методами:

- ♦ сцинтилляционным методом на малофоновом альфа-радиометре после соосаждения Pu с осадком фосфата висмута и введения в осадок порошка сцинтиллятора ZnS, нижний предел обнаружения Pu в пробе 5 мБк с погрешностью не более $\pm 45\%$ при $P = 0.95$;
- ♦ альфа-спектрометрическим для определения изотопного состава Pu с

помощью импульсной ионизационной камеры после электроосаждения радионуклида с меткой ^{242}Pu на стальные полированные мишени диаметром 35 мм, силой тока 6 А, эффективностью детектора в зонах регистрации изотопов плутония (4-6 МэВ) 45%, фоном детектора $3 \cdot 10^{-4}$ сек⁻¹. Нижний предел измерения составлял 1 мБк с погрешностью $\pm 30\%$ при $P=0.95$ [5].

Содержание Pu в органах и организме рассчитывали по концентрации радионуклида в исследованных органах с использованием рекомендаций 23 Публикации МКРЗ о соотношении масс органов и всего тела Условного человека и об изменении массы органов и тела с возрастом [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных литературы и результаты собственных исследований показывают, что поведение Pu различного происхождения в организме человека - из глобальных выпадений, поступающего в организм в ультрамалых количествах, из выбросов радиохимических предприятий у населения зоны наблюдения или промышленных соединений в организме у лиц из персонала - в каждом случае отмечены свои особенности при распределении Pu в организме. Так, известно, что Pu из глобальных выпадений мало накапливается в трахеобронхиальных лимфоузлах по сравнению с легкими. По данным литературы отношение удельных активностей лимфоузлы/легкие для Pu глобального происхождения не превышает 10 [7-9], тогда как по результатам собственных исследований у населения зоны наблюдения этот показатель для Pu из выбросов радиохимических предприятий колеблется от 10 до 40 [10], а у персонала предприятия концентрации в легочных лимфоузлах в отдельных случаях на 3 порядка превышали концентрацию Pu в легких [11]. Различия, по-видимому, связаны с поступлением в организм различных по физико-химической форме

(растворимости и дисперсности) соединений Pu , содержащихся в глобальных выпадениях и выбросах предприятий [9,10].

Анализ собственных результатов, полученных на основании посмертной радиометрии образцов органов и тканей, свидетельствует, что важным фактором, определяющим уровень накопления и характер распределения радионуклида в организме, является срок проживания в зоне наблюдения.

Учитывая доминирующую роль ингаляционного поступления, интерес представляют данные по распределению Pu между органами дыхательного тракта и экстрапульмональной частью организма. Анализ уровней накопления Pu в органах у жителей Озерска выявил, что относительное содержание в легких и лимфоузлах убывает с увеличением срока проживания в городе. Из табл.1 следует, что доля Pu , отложившегося в органах дыхательного тракта (легкие+лимфоузлы), уменьшается почти вдвое с 12% до 6.3% при увеличении длительности поступления с 1-9 лет до 37-45 лет. Не обнаружено влияния различных заболеваний органов дыхательного тракта и печени на распределение радионуклида в легких и лимфоузлах.

Отложение радионуклида в организме человека характеризуется высокой тропностью к скелету. Перераспределение Pu между скелетом и печенью у людей, проживших разные сроки в зоне наблюдения, не зависит от длительности поступления, но во многом определяется состоянием здоровья, которое может привести к появлению различных по степени выраженности морфологических изменений в печеночной ткани, устанавливаемых при патологоанатомических вскрытиях. Как следует из табл.1, у относительно здоровых людей, погибших в результате несчастных случаев, у которых при вскрытиях были обнаружены лишь слабо выраженные морфологические изменения печеночной ткани (1 группа), среднее соотношение

содержаний печень:скелет = $0.24:0.68 = 1:2.8$, не проявляя при этом тенденции к изменению во времени в зависимости от сроков поступления. Среднее относительное содержание в остальных мягких тканях составляло 8% от содержания во внелегочном пуле.

Однако, при появлении патологических изменений в печеночной ткани, обусловленных различными заболеваниями, под влиянием деструктивных процессов в печени происходит перераспределение Pu из печени в скелет. Результаты исследований указывали на значительную вариабельность величины отношения скелет/печень в зависимости от степени и характера выраженности морфологических изменений печеночной ткани. Обнаружено статистически значимое увеличение отношения скелет/печень (более, чем в 2 раза) у лиц с резко выраженными признаками жировой и белковой дистрофии гепатоцитов, связанными с хронической интоксикацией этиловым спиртом и такими заболеваниями как лейкозы, цирроз и рак печени, сахарный диабет, ожирение (2-я группа); соотношение содержаний печень/скелет в этой группе составляло $0.13:0.80 = 1.0: 6.15$. По данным работы [12] исключительно низкие концентрации Pu были также обнаружены в печени у больных людей, страдающих циррозом и ожирением.

У профессионалов через несколько лет после окончания контакта также не выявлено относительного перераспределения нуклида со временем между скелетом и печенью; но соотношение содержаний скелет/печень в отсутствие выраженных изменений печеночной ткани по результатам собственных исследований [13] и рекомендациям МКРЗ [2,14] составляло в среднем 1,6:1. Причина этого различия пока не ясна, вероятно это связано с особенностями поведения Pu , присутствующего в ультрамалых количествах в организме у населения зоны наблюдения.

Количественное распределение Pu во внелегочной части организма у населения

Таблица 1
Распределение Pu в организме у населения
зоны наблюдения, $\bar{x} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Срок проживания, лет	Легкие ¹⁾	Транхеобронх ¹⁾ Лимфоузлы	Содержание во внелегочном пуле ²⁾			
			n	Печень	Скелет	Мягкие ткани
			1-я группа ³⁾			
1-9	0,076±0,006 6 n=12	0,043±0,004 n=12	5	0,24±0,05	0,69±0,10	0,07±0,02
10-18	0,053±0,005 5 n=17	0,028±0,003 n=12	5	0,22±0,05	0,70±0,11	0,08±0,02
19-27	0,055±0,003 3 n=25	0,025±0,001 n=25	11	0,25±0,04	0,68±0,05	0,07±0,01
28-36	0,047±0,003 3 n=15	0,022±0,001 n=15	12	0,24±0,03	0,70±0,04	0,09±0,01
37-45	0,045±0,002 2 n=12	0,018±0,001 n=12	9	0,24±0,03	0,68±0,03	0,06±0,01
			42	0,24±0,02	0,68±0,03	0,08±0,007

П р и м е ч а н и е: ¹⁾ относительное содержание в легких и лимфоузлах рассчитано в долях от содержания в организме;

²⁾ относительное содержание в органах рассчитано в долях от содержания во внелегочном пуле, т.е. от содержания в организме минус содержание (легкие+лимфоузлы);

Распределение между органами внелегочного пула исследовано:

³⁾ для случаев со слабо выраженной патологией печени (1-я группа, 42 случая),

⁴⁾ для случаев с резко выраженными изменениями печеночных клеток (2-я группа, 64 случая).

n - количество исследованных случаев.

зоны наблюдения сходно с распределением плутония глобального происхождения. Отношение содержаний скелет/печень у населения различных регионов Северного полушария близко к 3 [15-17], отношение концентраций в указанных органах по данным разных исследователей изменяется в пределах от 0.2 до 0.7 [7-9]. По результатам

настоящего исследования соотношение концентраций скелет/печень у взрослых людей, проживших разные сроки в зоне наблюдения, колеблется около значения 0.5. Таким образом, Pu глобального и регионального - из выбросов радиохимических предприятий - происхождения, поступающий в организм человека в ультрамалых

количествах, распределяется между органами внелегочного пула примерно одинаково. У практически здоровых людей, не имеющих профессионального контакта с радионуклидами, Pu распределяется между печенью и скелетом в соотношении, близком к 1:3. Равновесное распределение Pu между органами внелегочного пула независимо от сроков поступления означает, что в первом приближении формирование поглощенной дозы для этих органов происходит в одинаковом ритме и различие в величинах доз определяется разной концентрацией нуклида в них.

На рис.1 представлена динамика изменения уровней накопления Pu в организме со временем проживания у взрослых жителей Озерска. На рис.1 видно, что содержание Pu у людей, проживших разные сроки в городе, возрастало с начала 50-х годов практически линейно до начала 90-х годов. Средняя скорость ежегодного прироста содержания составляла около 0,11 Бк/год и у людей, приехавших в город в 1949-1950 гг., средний уровень накопления за 40 лет составил к 1990г. 4.2 Бк, что в десятки раз превышало фоновый показатель для Pu глобального происхождения. Фоновое содержание Pu по результатам собственных исследований и данным других авторов колебалось в начале 80-х годов от 0.07 до 0,12 Бк [8-10]. Выявленный прирост содержания со временем приводит к заключению, что в долговременной перспективе фактор накопления Pu в организме у жителей Озерска может рассматриваться как наиболее значимый источник внутреннего облучения среди долгоживущих радионуклидов техногенного происхождения, обусловленных деятельностью ПО "Маяк" в начале 50-х годов. В последние годы прирост накопления Pu в организме у жителей Озерска замедлился и у людей со сроком проживания более 40 лет наметилась тенденция к снижению содержания. Однако, выявленные особенности динамики накопления Pu в организме у населения зоны наблюдения

позволяют считать, что проблема уровней внутреннего облучения от трансурановых нуклидов, обладающих исключительно длительными периодами полураспада, постепенно выдвигается на первый план по сравнению с дозами облучения от других радионуклидов техногенного происхождения, присутствующих в окружающей среде региона. Собственные результаты многолетнего мониторинга внутреннего облучения населения г.Озерск свидетельствуют, что к настоящему времени содержание долгоживущих продуктов деления ^{137}Cs и ^{90}Sr в организме стабилизировалось на постоянном уровне, в 2-4 раза превышающем соответствующие показатели у населения страны.

Следует отметить, что несмотря на значительное превышение фонового уровня содержание Pu у населения Озерска составляет лишь несколько процентов от допустимого уровня. Согласно "Нормам радиационной безопасности НРБ-76/87" допустимое содержание ^{239}Pu в скелете - органе основного депонирования - у лиц

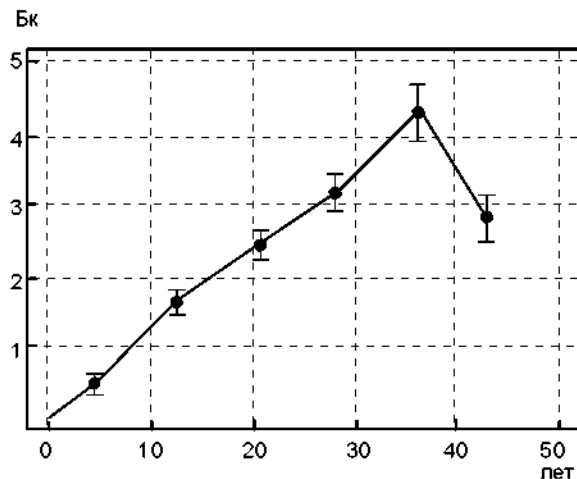


Рис.1. Содержание Pu в организме у жителей Озерска в зависимости от сроков проживания,

$$\bar{x} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

категории Б (ограниченная часть населения) составляет $ДС_6 = 0.1 ДСа = 0.002$ мКи или 74 Бк, чему соответствует годовая эквивалентная доза облучения костной ткани 3 бэр [18]. Среднее содержание Pu в скелете у жителей Озерска, проживших в городе с момента пуска предприятия до настоящего времени, составляло около 2.6 Бк, что в 30 раз ниже по сравнению с $ДС_6$.

На формирование дозы внутреннего облучения кроме ритма накопления оказывают влияние возрастные особенности метаболизма плутония в организме человека - скорость легочного клиренса и распределение в организме. Количественные характеристики обмена Pu в организме человека в зависимости от возраста мало изучены. Расчеты доз для населения от инкорпорированного Pu выполняются, как правило, на основе экстраполяционных оценок параметров (животные - человек). Нами были исследованы концентрации Pu в основных органах депонирования у людей разного возраста. На рис.2, где показана зависимость удельной активности Pu в органах от возраста, видно, что концентрации радионуклида в легких, печени и скелете увеличиваются с возрастом, что свидетельствует о постоянной скорости ингаляционного поступления радионуклида из внешней среды в организм. Самые низкие концентрации Pu обнаруживались у новорожденных детей: в легких - 11.1 мБк/кг, в печени - 18.7 мБк/кг и в скелете - 31.1 мБк/кг. С возрастом концентрации увеличивались и у людей старше 30 лет соответствующие значения для легких, печени и скелета составляли в среднем 165 мБк/кг, 410 мБк/кг и 245 мБк/кг. Изменяется с возрастом и количественное перераспределение Pu между скелетом и печенью. На рис.2 видно, что у детей самые высокие концентрации радионуклида обнаруживались в скелете; у новорожденных, например, удельная активность Pu в скелете была в 1.7 раза выше по сравнению с таковой в печени. У взрослых людей, наоборот, в печени концентрация выше, чем в скелете.

Относительное содержание в печени (в % от содержания во внелегочном пуле) росло с 11 - 15 % (у детей в возрасте от новорожденного до 16 лет) до 20 - 25% у взрослых людей, в скелете соответственно уменьшалось с 75-80% до 67-72%. На рис.3 видно, что величина отношения содержаний скелет/печень плавно снижается с 7.5 (новорожденные) до 4.4 (18-летние) и далее этот показатель мало меняется с возрастом, колеблясь в пределах 2.5 - 3.4. Не отмечено достоверных отличий в распределении Pu между легкими и внелегочным пулом в зависимости от возраста; среднее относительное содержание в легких у детей разного возраста изменялось от 3.0 до 5.5%, а у взрослых людей - от 4.0 до 5.0% от содержания в организме.

Обнаруженная нами возрастная зависимость отложения Pu в органах хорошо согласуется с результатами, полученными для Pu в эксперименте с животными [2,19] и для Pu глобального происхождения в организме человека [16,20]. Механизм обмена Pu в органах внелегочного пула достаточно хорошо описан Леггетом [21]. Высокая концентрация Pu в скелете по сравнению с печенью у детей связана с интенсивными процессами костеобразования в детском возрасте, обусловленными сначала заменой хрящевой ткани на костную (1-2 года), а затем быстрым ростом костей скелета в длину (11-16 лет).

Согласно рекомендациям 56 Публикации МКРЗ, описывающей новые возрастно-зависимые параметры обмена трансураниевых нуклидов в организме человека, отложение Pu в скелете и печени зависит от возраста, при котором произошло поступление. Предполагается, что у детей в возрасте от младенческого до 1 года отношение содержаний скелет:печень = 7:1, у детей 5-15 лет этот показатель равен 6:2 [2]. При этом доза внутреннего облучения при ингаляционном поступлении радионуклидов в организм увеличивается с возрастом пропорционально изменению минутного объема дыхания и массы органов [2].

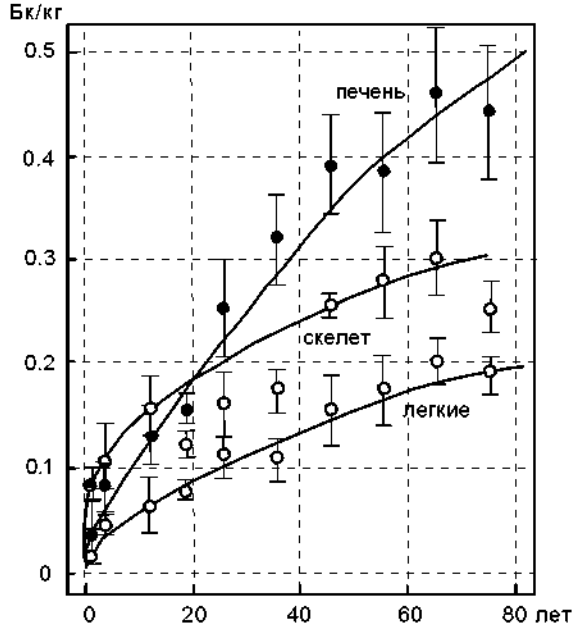


Рис.2. Зависимость концентрации Pu в трех органах основного депонирования (легкие, печень, скелет) от возраста,

$$\bar{x} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Используя результаты исследования, мы попытались оценить величину отношения содержаний Pu плод/организм матери. Нами было проанализировано 7 проб мертворожденных и новорожденных детей в возрасте 30- 40 недель. Предполагая, что накопление в организме обусловлено отложением Pu в трех органах - легких, печени и скелете - среднее содержание Pu в организме, рассчитанное с использованием данных 23 Публикации МКРЗ о массе органов [6], составляло у детей 0.022 Бк или менее 1% от содержания, обнаруженного у взрослых людей 20-35 лет (2,5Бк), отсюда отношение содержаний плод:мать= 0.009. При этом средняя концентрация в организме матери приблизительно будет составлять 0.04 Бк/кг, а в тканях плода массой около 3 кг приблизительно 0.007 Бк/кг, отсюда,

отношение концентраций плод : организм матери ≈ 0.17 . В работе [22] также сделана попытка оценить отношение концентраций плод / организм матери. Авторам не удалось точно определить удельную активность в плоде, уровни альфа-активности в большинстве проб были ниже чувствительности метода; максимальная концентрация, измеренная методом масс спектрометрии, была <50 мкБк/кг. Среднее содержание Pu в организме матери (19-20 лет) составляло приблизительно 0.3 мБк/кг и исследователи полагают, что отношение концентраций плод/организм матери < 0.2 [22]. Близкое значение этого показателя было получено в нашем исследовании; выше было показано, что отношение плод:организм матери ≈ 0.17 . Согласно экспериментальным данным [23], отношение концентраций плод/мать у животных равно 0.1. По данным работы [22] более высокие концентрации Pu, на порядок выше по сравнению с концентрацией в плоде, были измерены в плаценте. Таким образом, можно полагать, что на стадии беременности плацента, аккумулирующая Pu, препятствует переходу его в плод.

Изотопный состав Pu исследовали в 50 образцах органов. Отношение $^{238}\text{Pu} / ^{239,240}\text{Pu}$ в исследованных органах у жителей колебалось от 0.011 до 0.20. Среднее содержание активности ^{238}Pu составляло: в легких 0.04 ± 0.02 , в печени - 0.05 ± 0.03 и в скелете - 0.06 ± 0.04 от содержания $^{239,240}\text{Pu}$. Предварительные исследования изотопного состава Pu у персонала ПО "Маяк" показали, что на долю ^{238}Pu в органах приходится от 1 до 5 % от содержания $^{239,240}\text{Pu}$. Результаты наших исследований согласуются с данными других авторов. Так, у людей, проживающих вблизи радиохимических предприятий Англии и США, и у работников указанных предприятий концентрации ^{238}Pu в органах составляли по данным литературы величины того же порядка: от десятых долей процента до нескольких процентов [24,25].

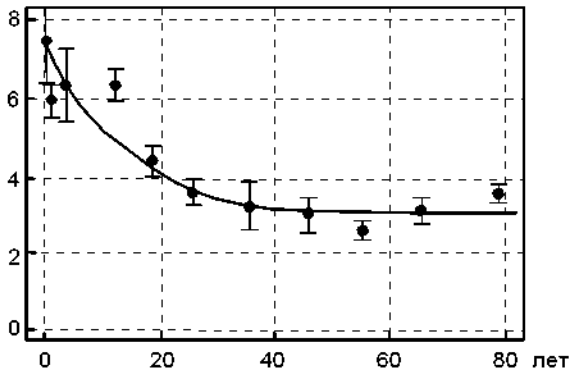


Рис.3. Отношение содержания Pu скелет/печень в зависимости от возраста,

$$\bar{x} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Известно, что величина изотопного отношения $^{238}\text{Pu} / ^{239,240}\text{Pu}$ в организме человека может свидетельствовать об источнике поступления радионуклида в окружающую среду: глобальные выпадения или выбросы радиохимического предприятия. В последнем случае в зависимости от типа реактора и времени выдержки топлива отношение активностей $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ колеблется от 0.01 до 4.0 [16,26]. Наши собственные исследования изотопного состава плутония у жителей Гомельской области в 1991 г показали, что на 5-й год после Чернобыльской аварии на долю ^{238}Pu в печени приходилось от 0.05 до 0.26 суммарной активности $^{238}\text{Pu} + ^{239,240}\text{Pu}$ в органе, среднее значение отношения $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ составляло 0.14 ± 0.05 [27]. Для плутония глобального происхождения в органах у населения некоторых стран Зап.Европы изотопное отношение концентраций $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ не отличается большой вариабельностью и изменяется примерно от 0.03 до 0.07 [16,28].

Высокое содержание плутония в организме, в десятки раз превышающее фоновые показатели, рост накопления в зависимости от

сроков проживания указывают на поступление в организм у жителей зоны наблюдения радионуклида регионального происхождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, данные многолетних исследований динамики накопления основных дозообразующих нуклидов в организме у населения г. Озерск, расположенного в зоне наблюдения радиохимического предприятия ПО "Маяк", свидетельствуют, что в долговременной перспективе наиболее значимым радиационным фактором техногенного облучения для данной популяции является накопление в организме человека Pu. Результаты радиохимического анализа образцов органов указывают на многократное превышение уровня накопления радионуклида в организме по сравнению с содержанием Pu глобального происхождения. Самое высокое содержание радионуклида, в среднем 4.2 Бк, обнаруживалось у людей, проживших в городе около 40 лет в период 1950-1990 гг.

Результаты исследований приводят к важному заключению, что фактическое распределение может существенно отличаться от общепринятых представлений о механизме обмена радионуклида в организме человека.

Анализ результатов посмертной радиометрии показывает, что распределение ультрамалых количеств радионуклида, поступающего из окружающей среды в организм человека, имеет свои особенности по сравнению с распределением вещества в организме у лиц, контактирующих с большими количествами радионуклида в производственных условиях. Уровни накопления в организме и распределение между легкими и внелегочным пулом зависят от длительности проживания людей в зоне наблюдения, при этом относительное содержание Pu в легких и трахеобронхиальных лимфоузлах снижается с увеличением сроков поступления. У лиц из населения зоны наблюдения отмечена большая тропность Pu к скелету, соотношение

печень:скелет = 1:3, тогда как у персонала указанное соотношение равно 1:1.6.

У детей, по сравнению со взрослыми, в скелете измерены более высокие концентрации Pu, чем в печени; соотношение содержаний скелет/печень снижается с возрастом с 7.5 (новорожденные) до 3.0 (взрослые).

В заключение заметим, что в настоящее время оценки накопленной дозы облучения от инкорпорированного Pu населения г.Озерск и Челябинского региона, пострадавшего от деятельности ПО "Маяк", осуществляются согласно "Методике расчета накопленных эффективных доз облучения граждан, подвергшихся радиационному воздействию в результате деятельности ПО "Маяк" [3], в основу которой положены фактические данные посмертных исследований особенностей метаболизма - ритма накопления и распределения в организме Pu у населения г. Озерск и населенных пунктов Челябинской области. Текущие эффективные дозы внутреннего облучения взрослых жителей г. Озерск в начале 90-х годов составляли от Pu+Am - около 100 мкЗв/год, а от ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs соответственно 10 и 6 мкЗв/год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пределы поступления радионуклидов для работающих с ионизирующим излучением. Публикация 30 МКРЗ. Часть 1: Пер. с англ./ Под ред. Рамзаева П.В., Моисеева А.А.- М.: Атомиздат, 1982. - 135 с.
2. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1, Part 2. ICRP Publication 56. Pergamon Press. Oxford, 1989. - 139p
3. Методика " Определение доз облучения жителей Челябинской области инкорпорированными плутонием и америцием-241". В "Методика расчета накопленных эффективных доз облучения граждан, подвергшихся радиационному воздействию в результате деятельности ПО "Маяк". ФИБ-1, руководитель В.Ф.Хохряков.- Челябинск, 1993.- С.46-49.
4. Госстандарт РФ. Плутоний. Методика анионообменного определения низких уровней альфа-активности в образцах секционного материала. Утверждена и аттестована НПО "ВНИИМ им.Д.И.Менделеева".- Филиал №1 ИБФ МЗ МП РФ, Сулова К.Г. - Челябинск-65, 1993.- 16 с.
5. Методика выполнения измерений активности изотопов плутония в присутствии метки плутония-242 на низкофоновом спектрометре альфа-излучения типа СЭАМ. Утверждена и аттестована НПО "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева".- Филиал №1 ИБФ МЗ МП РФ, Сулова К.Г., Кудрявцева Т.И., Черников В.И., Смирнов В.М.- г.Озерск, 1994.- 31 с.
6. Человек. Медико-биологические данные: Публикация №23 МКРЗ. - М.: Атомиздат, 1077.-495 с.
7. Fisenne J.M., Cohnen N., Neton J.W. et al. Fal-lout Plutonium in Human tissues from New York City.// Rad.Res.-1980.- 83.- P.162-168.
8. Popplewell D.S., Ham G.J., Johnson T.E. Plu-tonium body burdens of members of the public in different regions of the United Kingdom. "Res. and Dev.Rept, 1979-1981. Nat.Ra-diol.Prot.Board." Didcot, 1982.P. 198-199.
9. Singh N.P., Wrenn McD.E., Ibrahim S.A. Pluto-nium concentration in Human Tissues: compari-son to thorium.//Health Phys.- 1993.- V.44. - №.1.- P. 469-476.
10. Сулова К.Г. Динамика накопления некоторых долгоживущих радионуклидов и прогноз уровней внутреннего облучения населения зоны наблюдения радиохимического предприятия: Дисс. канд. биол.наук.- М.: 1966. - 224с.
11. Хохряков В.Ф., Кудрявцева Т.И. Распределение плутония-239 в организме работников радиохимического предприятия. // Спецбюллетень. 1985.- №2.- С.74-80.
12. Mussalo H., Jaakkola T., Miettinen I.K., Laiho K. Distribution of fallout plutonium in southern Finns. // Health Phys.- 1980.-V.39.-№2.- P. 245 - 255.
13. Хохряков В.Ф., Сулова К.Г., Кудрявцева Т.И. Сравнительное изучение распределения плутония в организме у работников

- радиохимического предприятия и жителей зоны наблюдения. // Спецбюллетень. -1989. - №3.- С.32-37.
14. The Metabolism of Plutonium and Related Elements. ICRP Publication 48. Pergamon Press. Oxford, 1986.- 16.- 2/3.- 98p.
15. McInroy J.F. Deposition and Retention of Plutonium in Human Populations - Occupationally and Non-occupationally Exposed (Abstract). // J.Rad.Res.- 1980.- V.21.- N.1.- P.2.
16. Bunzl K., Henrichs K., Kracke W. Distribution of fallout Pu-241, Pu-239,240 and Pu-238 in persons of different age from the Federal Republic of Germany. In: Assessment of Radioactive Contamination in Man. Vienna: IAEA, 1985.- P.541-553.
17. Kawamura H., Tanaka G.I. Actinides Concentrations in Human Tissues. // Health Phys.- 1983.- V..44.- №.1.- P.451-456.
18. Нормы радиационной безопасности НРБ -76/87. М.: Энергоатомиздат, 1988.-160 с.
19. Lloyd R.D., McFarland S.S., Atherton D.R., Mays C.W. Plutonium retention, excretion, and distribution in juvenile beagles soon after injection. // Radiat.Res.-1978.- №.75.- p.633-641.
20. Miettinen I.K., Mussalo H., Hakanen M. et al. Distribution of plutonium and americium in human and animal tissues after chronic exposures. Rad.Prot.Syst.Approach Safety Proc. 5th Cong. Int.Radiat.Prot.Soc. Jerusalem, March, 1980.- V.2.- P.1049-1052.
21. Leggett R.W. A model of the retention, translocation and excretion systemic Pu.// Health Phys.- 1985.- V.49.- №.6.- P.1115-1137.
22. Prosser S.L., WcCarthy W., Lands C. The plutonium content of human fetal tissue and implication for fetal dose. // Rad.Prot.Dosim. - -1994.- V.55.-№1.-P.49-55.
23. Stather J.W., Harrison J.D., Kendall G.M. Radiation doses to the embryo and fetus following intakes of radionuclides by the mother. // Rad.Prot.Dosim.- 1992.- V.41(2/4).- P.111 -118.
24. Popplewell D.S., Ham G.Y., McCarthy W. e.a. Isotopic composition of plutonium in human tissue samples determined by mass spectrometry. // Rad.Prot.Dosim. - 1989.- №.1/4.- P.313-316.
25. Nelson I.C., Thomas V.W., Kathren R.L. Plutonium in south-central Washington state autopsy tissue sample -1970-1975. // Health Phys.- 1993.- V.65.- №4.- P.422-428.
26. Bunzl K., Kracke W. Fallout Pu-239,240 and Pu-238 in Human Tissues from the Federal Republic of Germany. // Health Phys.- 1983. -V.44.- №1.- P. 441-449.
27. Hohryakov V.F., Suslova C.G., Skryabin A.M. Plutonium and the risk of cancer. A comparative analysis of Pu-body burdens due to releases from nuclear plants (Chelyabinsk-65, Gomel area) and global fallout. // Sci.Total Environ.- 1994.- 142.- P.101-104.
28. Singh N.P., Lewis L.L., Wrenn McD.E. Concentration of plutonium isotopes in human tissues of Northern Utan.// Health Phys. - 1983. - V.45. - №1. - P.200.

Поступила в редакцию в ноябре 1995 г.