

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТОРИЯ-232 И ПРОДУКТОВ ЕГО РАСПАДА И ГИГИЕНИЧЕСКИХ НОРМ
(СДН и ПДП) В ВОЗДУХЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.

П.П.Ляровский, Н.А.Павловская, Ю.Т.Капитанов,
Л.Т.Еловская, Л.Г.Манеева.

Институт гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР
Москва
С С С Р

Summary

Rats were administered, intratracheally or by inhalation, with soluble ($^{228}\text{ThCl}_4$), insoluble ($^{232}\text{ThO}_2$) thorium compounds together with its decay products as well as thorium-232 present in ores. Distribution and retention of Th-232 and its daughters were established for lung, lymph nodes, liver, bone, spleen, kidney and others.

The maximum admissible dose (MAD) was determined for small quantities of thorium inserted in ores.

The hygienic norms of thorium-232 and natural thorium (maximum admissible concentration) in atmospheres of workrooms were estimated.

Введение.

Радиотоксическое действие тория тесно связано с особенностями распределения радионуклидов ряда тория-232, уровнями их накопления в органах и тканях, скоростями выведения из организма.

Данные о метаболизме дочерних радиоэлементов ряда тория-232 в организме при поступлении их в органы дыхания совместно с материнским элементом или возникновении в результате распада материнского радионуклида в месте локализации последнего крайне ограничены. 1, 2, 3

Сведений о выведении тория-232 из легких при поступлении радионуклида в кристаллической решетке руд и концентратов в литературе не найдено. Данные о сочетанном действии микроколичеств тория и элементов, входящих в состав редкометаллических руд, отсутствуют.

Материалы и методы.

Исследования проведены на белых крысах, которым однократно интратрахеально вводили нерастворимое ($^{232}\text{ThO}_2$) и растворимое ($^{228}\text{ThCl}_4$) соединения тория совместно с дочерними радионуклидами

Окись тория метили радиоторием. ^{228}Th находился в равновесии с продуктами распада. Вводили $4,8 \cdot 10^{-6}$ кюри $^{232}\text{ThO}_2$ и $3,4 \cdot 10^{-7}$ кюри $^{228}\text{ThCl}_4$ на килограмм веса.

Счетный медианный диаметр (СМД) $^{232}\text{ThO}_2$ был равен 1,03 мкм, массмедианный диаметр (ММД) - 4,9 мкм.

Хлорид радиотория вводили в изотоническом растворе при pH=7. 95% тория-228 находилось в мономерной форме.

Крыс забивали через 3, 12, 24, 72 часа и 30, 90, 180, 270 суток после введения.

В органах и тканях количественно определяли ^{232}Th , ^{228}Th , ^{224}Ra , ^{212}Pb , ^{212}Bi .

Результаты.

В результате проведенных последований установлено, что распределение тория-232 и его дочерних продуктов в основном зависит от растворимости соединений.

В почки и печень поступает преимущественно свинец-212. Радий-224 накапливается в 3-4 раза меньших количествах.

При введении растворимого соединения тория в равновесии с дочерними радионуклидами, радий-224, свинец-212, висмут-212 находятся, в основном, в скелете. Максимальное количество радия-224 и свинца-212 накапливается в скелете через 24-72 часа после введения и достигает 78 и 75% соответственно от общего содержания их в организме.

Торий-228 в ранние сроки после введения находится преимущественно в легких. Постепенно количество тория-228 в легких снижается и через 90 суток содержание радионуклида в скелете становится выше, чем в легких. Спустя 270 суток после введения количество тория-228 в скелете достигает 66% и в легких - 22,8% от общего содержания радионуклида в организме. Максимальное содержание свинца-212 в печени и почках достигает 6,7 и 8,8% соответственно. Содержание радионуклидов ряда тория-232 в почках, печени, селезенке значительно ниже, чем в скелете. Наибольшее количество радия-224, находящееся в почках, равно 4,1% и в печени - 2,76% от содержания в организме. В перибронхиальных лимфатических узлах находится не более 2,68% тория-228 и 1,29% радия-224 и практически отсутствует свинец-212.

При расчетах поглощенных доз, установлении токсического действия и выборе критического органа существенное значение имеет не только общее содержание радионуклида в органе, но и его концентрация. При однократном интратрахеальном введении окиси тория наиболее высокая концентрация тория-232 и -228, радия-224 и свинца-212 почти во все сроки наблюдения отмечается в легких. Лишь спустя 6 месяцев после поступления препарата концентрация радионуклидов ряда тория в перибронхиальных лимфатических узлах становится выше, чем в легких. При поступлении в органы дыхания хлорида тория наиболее высокая удельная активность тория-228 и радия-224 почти в течение всего времени наблюдения находится в легких. Лишь через 90 суток после введения препарата удельная активность тория-228 и радия-224 в перибронхиальных лимфоузлах становится в 2,5 раза выше, чем в легких. Удельная активность свинца-212 в легких выше, чем в скелете лишь в течение первых суток после введения. Уже через 3 суток удельная активность этого изотопа в почках, печени, костной ткани становится выше, чем в легких.

Скорости выведения радионуклидов ряда тория из легких зависят от их растворимости.

При поступлении двуокиси тория совместно с дочерними радионуклидами выведение тория-232, тория-228, радия-224, свинца-212,

висмута-212 осуществляется в две стадии. Около 40% поступивших в органы дыхания радионуклидов выводится с эффективным периодом полувыведения ($T_{эфф.}$) около 3-х часов, эффективный период полувыведения остальной части тория-232 и 228 равен 180-200 суток. Изменение содержания радия-224, свинца-212, висмута-212 в легких при введении двуокиси тория определяется биологическим выведением, радиоактивным распадом и накоплением в результате распада материнского радионуклида и характеризуется следующими значениями полупериодов удержания: $T_{224Ra} = 160$ суток, $T_{212Pb} = 160$ суток, $T_{212Bi} = 116$ суток. (Рис. 1).

При введении в органы дыхания хлорида радиотория динамика выведения радионуклидов ряда тория-228 существенно отлична от наблюдаемой при поступлении двуокиси тория (рис. 2). Выведение тория-228 из легких осуществляется с 3-мя периодами полувыведения: $T_{эфф.} \leq 3$ часа, $T''_{эфф.} = 2,25$ суток и $T'''_{эфф.} = 60$ суток. Изменение содержания радия-224 и свинца-212 в легких в ранние сроки после введения осуществляется быстрее, чем тория-228. Уже через 3 часа после введения хлорида тория содержание тория-228, радия-224, свинца-212 в легких составляет 65,7, 22,4 и 46,7% от введенного количества. Изменение содержания радия-224 спустя первые 3 часа после введения хлорида радиотория осуществляется с двумя периодами полувыведения: $T_{1/2} = 1,18$ суток и $T''_{1/2} = 60$ суток. Проведенные нами расчеты показали, что периоды биологического выведения радия при этом равны $T_6 = 0,93$ суток /от 3 до 72 часов/ и $T''_6 = 1,19$ суток /от 3-х до 270 суток/.

Активность легких, обусловленная свинцом-212 и висмутом-212, снижается очень быстро и через 72 часа после введения составляет всего 0,2% от введенного количества. Очень быстрый спад активности свинца-212 постепенно прекращается и в период от 3 до 90 суток активность его остается почти без изменений. Затем активность свинца-212 и висмута-212 в легких вновь начинает снижаться. В результате разных скоростей выведения радионуклидов ряда тория при поступлении хлорида тория в легких наблюдается значительное нарушение радиоактивного равновесия в ряду тория-228.

Тенденция к более быстрому выведению дочерних радионуклидов по сравнению с материнским может быть обусловлена большей скоростью перехода их в кровь. Доли радионуклидов, переходящих во внутренние органы и ткани из мест поступления соединений тория, определяется величиной всасывания их в кровь и тропностью к определяемому органу.

При поступлении соединений тория в органы дыхания скорости резорбции радионуклидов ряда тория-232 в кровь зависят от химической природы элементов, растворимости соединений тория и времени с момента его поступления (табл. 1).

Таблица 1

Скорости резорбции в кровь крыс тория-228, радия-224, свинца-212 в % от содержания в организме /сутки при интратрахеальном введении соединений тория.

Радионуклид	Время после введения					
	3ч.	24ч.	72ч.	30 сут.	90 сут.	180 сут.
вводили двуокись тория						
Торий-232	0,1	0,01	0,001	0,001	0	0
Радий-224	2,2	15,9	40,3	4,2	4,3	3,4
Свинец-212	-	11,0	10,3	5,6	6,3	4,3
вводили хлорид тория						
Торий-228	0,3	0,22	0,24	0,36	0,02	0
Радий-224	-	85	27	16,2	11,3	22,5
Свинец-212	-	24	27,6	29,6	31	24,6

Как следует из табл. 1 резорбция радия-224 и свинца-212 в кровь при введении в органы дыхания как растворимых, так и нерастворимых соединений тория выше, чем материнского радионуклида. Незначительный переход тория в кровь при введении двуокиси тория может быть обусловлен крайне плохой растворимостью его в воде и тканевых жидкостях. Более высокий переход радия-224 и свинца-212, находящихся в кристаллической решетке практически нерастворимого в воде соединения двуокиси тория, по-видимому, обусловлен повышенной выщелачиваемостью этих радионуклидов.

Из крови радионуклиды ряда тория переходят преимущественно в костную ткань. При поступлении ThO_2 в органы дыхания в скелет переходит до 0,12% тория-232, 17% - радия-224, 13% - свинца-212 и 7% - висмута-212. В печень и почки переходят свинец-212 и висмут-212. Радиоактивное равновесие в ряду тория-232 в скелете и внутренних органах нарушено в значительной степени как при введении нерастворимого, так и растворимого соединений тория.

Проведены исследования скорости выведения тория-232 из легких крыс в том случае, если радионуклид поступает в составе руды или концентрата. Установлено, что в случае хронического ингаляционного поступления аэрозолей, содержащих труднорастворимые редкоземельные минералы типа циркона и лопарита, эффективный период полувыведения Th^{232} из легких белых крыс в случае лопарита был равен 440 ± 50 суткам, в случае циркона 470 ± 140 суткам. При экстраполяции этих данных на человека $T_{\text{эфф.}}$ для тория, входящего в состав труднорастворимых природных соединений, составит 4,8-5,2 года.

Исследования, проведенные на крысах, которые подвергались хроническому ингаляционному воздействию пыли циркона и лопарита, позволили установить, что минимально эффективная доза равна ~ 200 бэр. Для установления величины минимально-эффективной дозы были использованы такие критерии, как средняя продолжительность жизни, оценивавшаяся по ET_{50} - эффективному времени выживаемости 50% взятых в опыт крыс, по blastomagenному эффекту и по ряду биохимических, морфологических и других показателей, характеризующих не только состояние легочной ткани, но и организма в целом. Так, производилась оценка весовых показателей легких, содержания в них растворимых и нерастворимых белков, изучалась интенсивность обмена белков легочной ткани (с помощью аминокислот лизина и глицина, меченных по ^{14}C), степень склерозирования легочной ткани, а также состояние организма в целом по ряду гематологических, иммунологических и других физиологических показателей.

Итак, полученные в эксперименте данные позволили уточнить периоды полувыведения радионуклидов ряда тория ($T_{\text{эфф.}}$), доли (f возд.), доли радионуклидов от количества во всем теле (f_2), эффективные энергии радионуклидов ряда тория ($E_{\text{эфф.}}$) и др., а также установить величину ПДМД при поступлении в организм природного тория в составе труднорастворимых руд и концентратов.

На основании этих данных проведен расчет гигиенических норм тория-232, тория естественного, а также природного тория, входящего в состав труднорастворимых руд и концентратов.

Расчет проводили для частиц пыли с массмедианным аэродинамическим диаметром (ММАД) равным 0,06 мкм, 1 мкм, 10 мкм. Использовали формулу, основанную на экспоненциальном законе выведения. В результате расчета установлены следующие значения:

СДН Th^{232} от $0,37 \cdot 10^{-14}$ до $2,6 \cdot 10^{-14}$ нюри/л

СДН Th -ест. от $0,8 \cdot 10^{-5}$ до $6,2 \cdot 10^{-5}$ мг/л

СДН Th в составе $2,5 \cdot 10^{-15}$ нюри/л
нерастворимых руд

Из расчетов следует, что гигиенические нормы варьируют в

зависимости от дисперсности пыли.

В НРБ⁴ в настоящее время принятой величиной считается среднее значение, полученное для ММАД-1 мкм и равное:

СДН Th^{232} = $1,16 \cdot 10^{-14}$ кюри/л

СДН $\text{Th}_{\text{ест.}}$ = $3,7 \cdot 10^{-5}$ мг/л.

Литература.

1. Ballou. The translocation of thorium decay products from thorium dioxide in the dog lung. Health phys. 1970, 19, 2, 344.
2. Л.Г.Макеева, Н.А.Павловская. Выведение тория-228 и продуктов его распада из легких в эксперименте "Гигиена и санитария", 1970, 11, 42-43.
3. Н.А.Павловская, Л.Г.Макеева. Поведение радионуклидов ториевого ряда (Th^{232} , Th^{228} , Ra^{224} , Rb^{212} , Bi^{212}) в организме крыс при интратрахеальном поступлении двуокиси тория. Гигиена и санитария". 1972, 2, 65-68.
4. Нормы радиационной безопасности НРБ-69. Москва, Атомиздат. 1972, стр. 65 и 80.

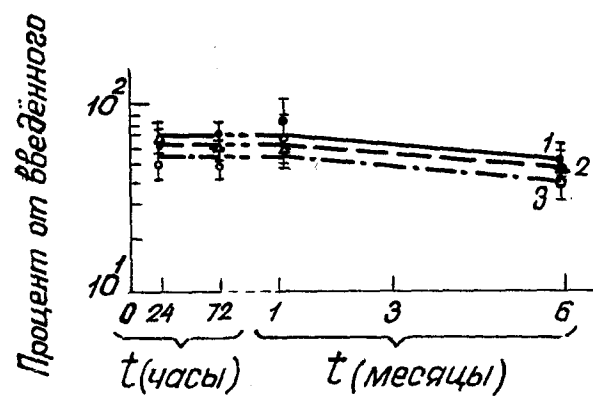


Рис. 1. Удержание тория-228(1), радия-224(2) и свинца-212(3) в легких крыс при интратрахеальном поступлении двуокиси тория.

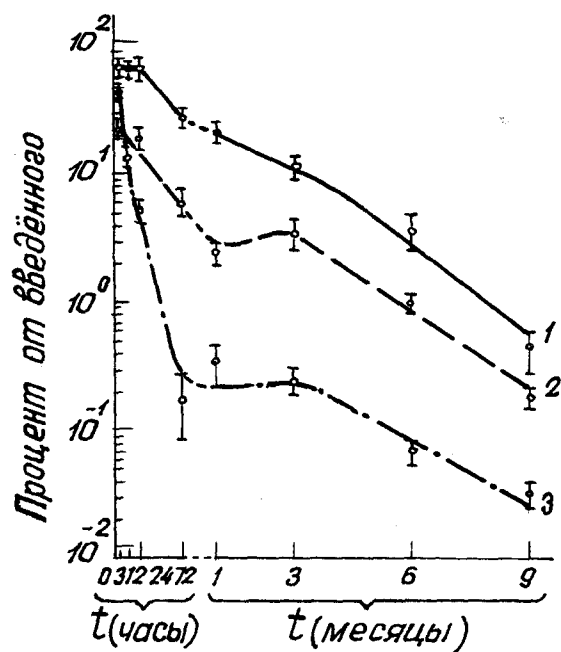


Рис. 2. Удержание тория-228(1), радия-224, свинца-212(3) в легких крыс при интратрахеальном поступлении хлорида радиотория.