

Технеций

Характеристика элемента. Искусственный элемент. Атомный номер 43. Атомная масса 98.

Физические и химические свойства. Металл серебристого цвета. Температура плавления 2200°C , температура кипения 4700°C . Плотность $11,5\text{ г/см}^3$. По химическим свойствам технеций близок к марганцу и особенно к рению. В соединениях проявляет степени окисления от +1 до +7 (наиболее устойчиво шести- и особенно семивалентное состояние). При взаимодействии с кислородом образует оксиды с хлором и фтором — галогеноиды, с серой — сульфиды. Образует также технециевую кислоту и соли пертехнаты.

Характеристика изотопов. Известны радиоактивные изотопы с массовыми числами $92 \div 107$. Практическое значение имеют ^{99}Tc и ^{99m}Tc . Ядерно-физические свойства основных радиоактивных изотопов приведены в таблице 1.

Содержание в природе. Технеций встречается в незначительных количествах — 10^{-10} г на 1 т урановой смолки.

Получение. Основным источником получения технеция служат отходы атомной промышленности. Выход ^{99}Tc при делении ^{235}U составляет около 6 %. В форме пертехнатов, оксидов и сульфидов технеций извлекают экстракцией органическими растворителями, методом ионного обмена и осаждением малорастворимых производных. Металлический технеций получают электролизом или восстановлением водородом H_4TcO_4 , TcO_2 , Tc_2S_7 .

Применение. ^{99}Tc как перспективный металл может найти применение в качестве катализатора и сверхпроводящего материала. Соединения технеция являются эффективными ингибиторами коррозии. Технеций в форме пертехната $\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$ применяют в медицине. ^{99m}Tc в форме различных радиофармпрепаратов используют для визуализации внутренних органов, изучения функционального состояния щитовидной железы, сканирования щитовидной железы, слюнных желёз, сердца и крупных сосудов, скелета, опухолей головного мозга и др. Макроагрегаты альбумина применяют для диагностики инфарктов лёгких.

Широкое использование ^{99m}Tc в медицине стало возможным благодаря разработке генераторных систем радионуклидов. Для получения ^{99m}Tc в генераторах используют ^{99}Mo ($^{99}\text{Mo} \xrightarrow{\beta^-} ^{99m}\text{Tc} \xrightarrow{\gamma} ^{99}\text{Tc}$), который образуется в ядерных реакторах по реакции (n, γ) или как продукт деления урана. В генераторе при распаде ^{99}Mo образуется ^{99m}Tc в форме ионов пертехната (TcO_4). При элюировании (промывании) колонки раствором хлорида натрия происходит обмен между ионами хлора и TcO_4 , в результате которого образуется $\text{Na}^+(\text{^{99m}\text{TcO}_4})^-$. В РФ организован выпуск наборов для получения ^{99m}Tc .

Вводимое человеку количество ^{99m}Tc зависит от вида исследований. Так, при исследовании почек и печени обычно вводят 37 МБк, при сканировании щитовидной железы — 9 МБк, головного мозга — 185 МБк, определения минутного объема сердца — 74 МБк.

Таблица 1

Ядерно-физические свойства основных радиоактивных изотопов технеция

Радионуклид	$T_{1/2}$	Тип распада	Средняя энергия излучения, МэВ/(Бк·с)		Дочерний радионуклид (выход)
			характеристическое, γ - и аннигиляционное излучение	β -излучение, конверсионные электроны и электроны Оже	
^{93m}Tc	43,5 мин.	ЗЭ, ИП	$7,22 \cdot 10^{-1}$	$7,90 \cdot 10^{-2}$	^{93}Mo радиоакт. ($1,82 \cdot 10^{-1}$), ^{93}Tc радиоакт. ($8,18 \cdot 10^{-1}$)
^{93}Tc	2,75 ч.	ЗЭ	1,46	$6,28 \cdot 10^{-3}$	^{93}Mo радиоакт.
^{94m}Tc	52 мин.	ЗЭ, β^+	1,85	$7,53 \cdot 10^{-1}$	^{94}Mo стаб.
^{94}Tc	293 мин.	ЗЭ, β^+	2,67	$4,87 \cdot 10^{-2}$	^{94}Mo стаб.
^{95m}Tc	61 сут.	ЗЭ, β^+ , ИП	$6,73 \cdot 10^{-1}$	$1,55 \cdot 10^{-2}$	^{95}Mo стаб. ($9,60 \cdot 10^{-1}$), ^{95}Tc радиоакт. ($4,0 \cdot 10^{-2}$),
^{95}Tc	20 ч.	ЗЭ	$7,94 \cdot 10^{-1}$	$6,80 \cdot 10^{-3}$	^{95}Mo стаб.
^{96m}Tc	51,5 мин.	ЗЭ, ИП	$5,11 \cdot 10^{-1}$	$2,72 \cdot 10^{-2}$	^{96}Mo стаб. ($2,00 \cdot 10^{-2}$), ^{96}Tc радиоакт. ($9,8 \cdot 10^{-1}$)
^{96}Tc	4,28 сут.	ЗЭ	2,49	$8,75 \cdot 10^{-3}$	^{96}Mo стаб.
^{97m}Tc	87 сут.	ИП	$9,59 \cdot 10^{-3}$	$8,68 \cdot 10^{-3}$	^{97}Tc радиоакт.
^{97}Tc	$2,6 \cdot 10^6$ лет	ЗЭ	$1,14 \cdot 10^{-2}$	$5,57 \cdot 10^{-3}$	^{97}Mo стаб.
^{98}Tc	$4,2 \cdot 10^6$ лет	β^-	1,41	$1,59 \cdot 10^{-1}$	^{98}Ru стаб.
^{99m}Tc	6,02 ч.	ИП	$1,26 \cdot 10^{-1}$	$1,62 \cdot 10^{-2}$	^{99}Tc радиоакт.
^{99}Tc	$2,13 \cdot 10^5$ лет	β^-	—	$1,01 \cdot 10^{-1}$	^{99}Ru стаб.
^{101}Tc	14,2 мин.	β^-	$3,33 \cdot 10^{-1}$	$4,77 \cdot 10^{-1}$	^{101}Ru стаб.
^{104}Tc	18,2 мин.	β^-	1,95	1,60	^{104}Ru стаб.

Поступление, распределение и выведение из организма. Величину всасывания технеция из ЖКТ для всех соединений принимают равной 0,8 [1]. Принято, что 0,04 технеция задерживается в щитовидной железе, 0,1 — в стенках желудка и 0,03 — в печени. Остальная часть технеция равномерно распределяется в других органах и тканях. Из органов и тканей (кроме щитовидной железы) 0,75; 0,20 и 0,05 технеция выводятся с T_b , равным соответственно 1,6; 3,7 и 22 сут.

Выводится технеций из организма в основном с мочой. Облучение характеризуется относительной равномерностью. Максимальные дозы формируются в желудке, кишечнике, щитовидной железе и слюнных железах. В других органах дозы на порядок ниже.

Гигиенические нормативы. Значения дозовых коэффициентов приведены в таблицах 2, 3, 4, .

Таблица 2

**Минимально значимые удельная активность (МЗУА)
и активность в помещении или на рабочем месте (МЗА)
радиоизотопов технеция [НРБ-99]**

Радио- нуклид	МЗУА, Бк/г	МЗА, Бк	Группа радиационной безопасности
^{96}Tc	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^6$	В
^{96m}Tc	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^7$	В
^{97}Tc	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^8$	Г
^{97m}Tc	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^7$	В
^{99}Tc	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^7$	В
^{99m}Tc	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^7$	В

Значения дозовых коэффициентов, предела годового поступления (ПП) с воздухом и допустимой среднегодовой объёмной активности (ДОА) в воздухе для персонала радиоизотопов технеция [НРБ-99]

Радио- нуклид	Период полу- распада, $T_{1/2}$	Тип соеди- нения при инга- ляции*	Дозовый коэф- фициент $\varepsilon_{\text{нас}}^{\text{возд}}$, Зв/Бк	Предел годового поступ- ления ПП _{перс} , Бк/год	Допустимая средне- годовая активность ДОА _{перс} , Бк/м ³
⁹³ Tc	2,75 ч.	Б	$3,4 \cdot 10^{-11}$	$5,9 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^5$
		П	$3,6 \cdot 10^{-11}$	$5,6 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^5$
^{93m} Tc	0,725 ч.	Б	$1,5 \cdot 10^{-11}$	$1,3 \cdot 10^9$	$5,3 \cdot 10^5$
		П	$1,7 \cdot 10^{-11}$	$1,2 \cdot 10^9$	$4,7 \cdot 10^5$
⁹⁴ Tc	4,88 ч.	Б	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$1,7 \cdot 10^8$	$6,7 \cdot 10^4$
		П	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^8$	$6,2 \cdot 10^4$
^{94m} Tc	0,867 ч.	Б	$4,3 \cdot 10^{-11}$	$4,7 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^5$
		П	$4,9 \cdot 10^{-11}$	$4,1 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^5$
⁹⁵ Tc	20,0 ч.	Б	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^8$	$8,0 \cdot 10^4$
		П	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^8$	$8,0 \cdot 10^4$
^{95m} Tc	61,0 сут.	Б	$3,1 \cdot 10^{-10}$	$6,5 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^4$
		П	$8,7 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^7$	$9,2 \cdot 10^3$
^{96m} Tc	0,858 ч.	Б	$6,5 \cdot 10^{-12}$	$3,1 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^6$
		П	$7,7 \cdot 10^{-12}$	$2,6 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^6$
⁹⁶ Tc	4,28 сут.	Б	$6,0 \cdot 10^{-10}$	$3,3 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^4$
		П	$7,1 \cdot 10^{-10}$	$2,8 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^4$
^{97m} Tc	87,0 сут.	Б	$2,8 \cdot 10^{-10}$	$7,1 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^4$
		П	$3,1 \cdot 10^{-9}$	$6,5 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^3$
⁹⁷ Tc	$2,6 \cdot 10^6$ лет	Б	$4,5 \cdot 10^{-11}$	$4,4 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^5$
		П	$2,1 \cdot 10^{-10}$	$9,5 \cdot 10^7$	$3,8 \cdot 10^4$
⁹⁸ Tc	$4,2 \cdot 10^6$ лет	Б	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^7$	$8,0 \cdot 10^3$
		П	$8,1 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^6$	$9,9 \cdot 10^2$
⁹⁹ Tc	$2,13 \cdot 10^5$ лет	Б	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$6,9 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^4$
		П	$3,9 \cdot 10^{-9}$	$5,1 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^3$
^{99m} Tc	6,02 ч.	Б	$1,2 \cdot 10^{-11}$	$1,7 \cdot 10^9$	$6,7 \cdot 10^5$
		П	$1,9 \cdot 10^{-11}$	$1,1 \cdot 10^9$	$4,2 \cdot 10^5$
¹⁰¹ Tc	0,237 ч.	Б	$8,7 \cdot 10^{-12}$	$2,3 \cdot 10^9$	$9,2 \cdot 10^5$
		П	$1,3 \cdot 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^9$	$6,2 \cdot 10^5$
¹⁰⁴ Tc	0,303 ч.	Б	$2,4 \cdot 10^{-11}$	$8,3 \cdot 10^8$	$3,3 \cdot 10^5$
		П	$3,0 \cdot 10^{-11}$	$6,7 \cdot 10^8$	$2,7 \cdot 10^5$

* Примечание:

К типу "П" относятся оксиды, гидроксиды, галогениды, нитраты технеция.
К типу "Б" относятся иные соединения.

Значения дозовых коэффициентов, пределов годового поступления (ПГП) с воздухом и пищей, допустимой объёмной активности (ДООА) во вдыхаемом воздухе и уровни вмешательства (УВ) при поступлении с водой для населения радиоизотопов технеция [НРБ-99]

Радионуклид	Период распада, $T_{1/2}$	Поступление с воздухом				Поступление с водой и пищей			
		Критическая группа*	Дозовый коэффициент, $\epsilon_{\text{нас}}^{\text{возд}}$, Зв/Бк	Предел годового поступления, Бк/год	Допустимая годовая объёмная активность, ДООА _{нас} , Бк/м ³	Критическая группа*	Дозовый коэффициент, $\epsilon_{\text{нас}}^{\text{возд}}$, Зв/Бк	Предел годового поступления, Бк/год	Уровень вмешательства
^{95m} Tc	61,0 сут.	КГ	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$9,1 \cdot 10^5$	ДООА _{нас} , Бк/м ³	КГ	$2,8 \cdot 10^{-9}$	$3,6 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^2$
⁹⁶ Tc	4,28 сут.	5	$3,9 \cdot 10^{-9}$	$2,6 \cdot 10^5$	Бк/м ³	2	$5,1 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^2$
⁹⁷ Tc	$2,6 \cdot 10^6$ лет	5	$2,8 \cdot 10^{-10}$	$3,6 \cdot 10^6$	Бк/м ³	2	$4,9 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^3$
^{97m} Tc	87,0 сут.	5	$4,1 \cdot 10^{-9}$	$2,4 \cdot 10^5$	Бк/м ³	2	$4,1 \cdot 10^{-9}$	$2,4 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^2$
⁹⁸ Tc	$4,2 \cdot 10^6$ лет	5	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^5$	Бк/м ³	2	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$8,3 \cdot 10^4$	$6,9 \cdot 10^1$
⁹⁹ Tc	$2,13 \cdot 10^5$ лет	5	$5,0 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^5$	Бк/м ³	2	$4,8 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^2$

* 2 — дети в возрасте 1–2 года, 4 — дети в возрасте 7–12 лет.

Методы определения. В организме загрязнение радиоактивными изотопами технеция диагностируется по γ -излучению от тела и ардиометрическим исследованием биосубстратов (кровь, моча, кал).

Меры профилактики. При работе с радиоактивными изотопами технеция необходимо соблюдать санитарные правила и нормы радиационной безопасности [2] с применением защитных средств в соответствии с классом работ.

Неотложная помощь. Дезактивация кожных покровов водой с мылом. Рвотные средства (апоморфин 1 % — 0,5 мл подкожно) или промывание желудка. Внутрь йодид натрия 0,2 г, сайодин 0,5 г, тиреостатические препараты (6-метилтиоурацил 0,25 г, мерказолил 0,01 г, перхлорат калия 0,25 г). Обильное питье. Очистительные клизмы. Мочегонные (гипотиазид 0,2 г, фонурит 0,25 г) [3].

Список литературы

- [1] *“Пределы поступления радионуклидов для работающих с ионизирующим излучением.”* Публикация N 30 МКРЗ. Ч. 1. — М.: Энергоатомиздат, 1982. — 135 с.
- [2] *“Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы.”* — М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999, 116 с.
- [3] Борисов В. П. и др. *“Неотложная помощь при острых радиационных воздействиях.”* — М.: Атомиздат, 1976 — 208 с.