

Хлор

Характеристика изотопов. Природный хлор состоит из двух стабильных изотопов: ^{35}Cl (75,53 %), ^{37}Cl (24,47 %). Стабильный хлор встречается в природе только в виде различных соединений. Среднее содержание в земной коре (кларк) составляет $1,7 \cdot 10^{-2}$ % по массе, в кислых гранитах — $2,4 \cdot 10^{-2}$ %. В мировом океане в виде ионов хлора — 1,93 %. Известны крупные месторождения хлора (NaCl , KCl и др.). Химически хлор очень активен. Он широко применяется в различных отраслях промышленности (хлорсодержащие органические и неорганические соединения).

Хлор является одним из биогенных элементов. Он постоянный компонент тканей растений и животных. Его роль в организме многообразна (осмотическая, водно-солевой обмен, регуляция кислотно-щёлочного равновесия, энергетический обмен и др.).

Известны радиоактивные искусственные изотопы с массовыми числами $32 \div 34$, 36 , $38 \div 41$. Практический интерес представляют ^{36}Cl и ^{38}Cl . Ядерно-физические свойства основных радиоактивных изотопов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Ядерно-физические свойства радиоизотопов хлора

Радио- нуклид	$T_{1/2}$	Тип распада	Средняя энергия излучения, МэВ/(Бк·с)		Дочерний радио- нуклид (выход)
			характери- стическое, γ - и аннигиля- ционное излучение	β -излучение, конвер- сионные электроны и электроны Оже	
^{36}Cl	$3,01 \cdot 10^5$ лет	ЗЭ, β^+ , β^-	$1,55 \cdot 10^{-4}$	$2,74 \cdot 10^{-1}$	^{36}Ar стаб. (0,981); ^{36}S ($1,90 \cdot 10^{-2}$)
^{38}Cl	37,21 мин.	β^-	1,49	1,53	^{38}Ar стаб.
^{39}Cl	55,6 мин.	β^-	1,44	$8,22 \cdot 10^{-1}$	^{39}Ar радиоакт.

Примечание:

ЗЭ — захват электрона; ИП — изомерный переход;

β^- — электронный распад; β^+ — позитронный распад.

Содержание в природе. ^{36}Cl , ^{38}Cl и ^{39}Cl образуются в атмосфере под действием космических лучей; обнаружены также в дождевой воде.

Получение. ^{36}Cl и ^{38}Cl получают по реакции (n, γ) из хлора в перхлоратах, хлоратах или органических соединениях.

Применение. ^{36}Cl применяют в медицине — для изучения водного и солевого обмена, хлорного пространства, т.е. обмена, в котором распределяется введённый радио-

нуклид, скорости выведения из организма и других механизмов водно-солевого обмена. Используют также в химических и биологических процессах как индикатор в составе различных хлорсодержащих соединениях, в частности в пестицидах для изучения

- путей поступления ядов в организм животных,
- метаболизма,
- механизма действия и выведения из организма,
- распространения ядохимикатов во внешней среде и т. д.

Антропогенные источники поступления в окружающую среду. При ядерных взрывах под действием нейтронного излучения радиоактивный хлор образуется в воде и почве из стабильного хлора.

Поступление, распределение и выведение из организма. Радиоактивный хлор может поступать в организм через органы пищеварения, дыхания и кожные покровы. Процессы всасывания, распределения и выведения из организма аналогичны стабильному хлору. Всасывается радионуклид очень быстро. Всосавшийся хлор распределяется в организме относительно равномерно. Из всосавшегося хлора 84 % депонируется в мягких тканях и 16 % в скелете. Кратность накопления для организма в целом составляет 18,3, в мягких тканях — 15,6, в скелете — 2,7. Выводится хлор из организма с T_6 , равным 10 сут. Выведение происходит в основном с мочой (85 %). Баланс хлора для условного человека (в граммах в сутки): поступление — 5,3; выведение: с мочой — 4,4; фекалиями — 0,05; потом — 0,78; другими жидкостями — 0,05 [1].

Токсическое действие. Острые радиационные поражения радиоактивным хлором не описаны. Учитывая равномерный характер внутреннего облучения, поражения по своему клиническому течению напоминают лучевую болезнь при внешнем γ -облучении. При нейтронном облучении человека и животных в их теле из стабильного хлора образуется ^{36}Cl . Практическое значение наведённой активности из-за короткого периода распада радионуклида невелико. Активность его спустя 4–5 ч. после нейтронного облучения снижается примерно до 1 % первоначальной.

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

Таблица 2

Значения дозовых коэффициентов, предела годового поступления (ПГП) с воздухом и допустимой среднегодовой объёмной активности (ДОА) в воздухе для персонала радиоизотопов хлора [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 ПГП _{перс} , Бк/год	Допустимая средне- годовая активность ДОА _{перс} , Бк/м ³
³⁶ Cl	3,01 · 10 ⁵ лет	Б	3,4 · 10 ⁻¹⁰	5,9 · 10 ⁷	2,4 · 10 ⁴
		П	6,9 · 10 ⁻⁹	2,9 · 10 ⁶	1,2 · 10 ³
³⁸ Cl	0,620 ч.	Б	2,7 · 10 ⁻¹¹	7,4 · 10 ⁸	3,0 · 10 ⁵
		П	4,7 · 10 ⁻¹¹	4,3 · 10 ⁸	1,7 · 10 ⁵
³⁹ Cl	0,927 ч.	Б	2,7 · 10 ⁻¹¹	7,4 · 10 ⁸	3,0 · 10 ⁵
		П	4,8 · 10 ⁻¹¹	4,2 · 10 ⁸	1,7 · 10 ⁵

* Примечание:

К типу "Б" относятся соединения с H, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr.

К типу "П" относятся иные соединения.

Таблица 3

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 радиоизотопа хлора ^{36}Cl [НРБ-99]

Радионуклид	Период распада, $T_{1/2}$	Поступление с воздухом				Поступление с водой и пищей			
		Критическая группа*	Дозовый коэффициент,	Предел годового поступления,	Допустимая средняя годовая объёмная активность,	Критическая группа*	Дозовый коэффициент	Предел годового поступления,	Уровень вмешательства
^{36}Cl	$3,01 \cdot 10^5$ лет	КГ	$\epsilon_{\text{нас}}^{\text{возд}}$, Зв/Бк	ПГП _{нас} ^{возд} , Бк/год	ДООА _{нас} , Бк/м ³	КГ	$\epsilon_{\text{нас}}^{\text{возд}}$, Зв/Бк	ПГП _{нас} ^{возд} , Бк/год	УВ _{вода} , Бк/кг
		5	$8,8 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^1$	2	$6,3 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^2$

* 2 — дети в возрасте 1–2 года, 5 — дети в возрасте 12–17 лет.

Таблица 4

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

Радионуклид	МЗУА, Бк/г	МЗА, Бк
^{36}Cl	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^6$
^{38}Cl	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^5$

Таблица 4

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

Радио- нуклид	МЗУА, Бк/г	МЗА, Бк	Группа радиационной безопасности
^{36}Cl	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^6$	В
^{38}Cl	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^5$	Б

Методы определения. В организме заражение радиоактивными изотопами хлора диагностируется по β -излучению от биосубстратов (кровь, моча, кал).

Меры профилактики. При работе с радиоактивными изотопами хлора необходимо соблюдать санитарные правила и нормы радиационной безопасности [2] с применением специальных мер защиты в соответствии с классом работ.

Неотложная помощь. Дезактивация загрязненной кожи водой с мылом. По поступлении радионуклида внутрь — рвотные средства (апоморфин 1 % — 0,5 мл подкожно) или промывание желудка. Повышение водно-солевого обмена. При тяжёлых интоксикациях — введение больших объёмов физиологического раствора, солевые слабительные (сернокислый натрий или магний 30,0 : 200,0), очистительные клизмы, мочегонные (диуретин 0,2 г, фонурит 0,2 г) [3].

Список литературы

- [1] “Человек. Медико-биологические данные.” Публикация 23 МКРЗ. — М.: Медицина, 1977. — 496 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.