

## 10. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Уран в любом виде представляет опасность для здоровья человека. Причем химическая токсичность урана представляет большую опасность, чем его радиоактивность.

Уран - общеклеточный яд, поражает все органы и ткани; его действие обусловлено химической токсичностью и радиоактивностью. ПДК для растворимых соединений урана  $0,015 \text{ мг/м}^3$ , для нерастворимых -  $0,075 \text{ мг/м}^3$ . Основные мероприятия по борьбе с загрязнением воздушной среды пылью при добыче и переработке урана: механизация процессов, герметизация оборудования, использование мокрых способов переработки сырья. Операции на радиохимических производствах проводят дистанционно, с применением биологической защиты.

Все изотопы и составы урана являются ядовитыми, тератогенными (действуют на плод во время беременности) и радиоактивными. Уран, как известно, испускает альфа-, бета- и гамма-излучение. Альфа-излучение – наиболее опасный фактор, так как задерживается клетками ткани и приводит к изменениям на клеточном уровне. Энергетика у каждого радионуклида своя.

Основную опасность уран представляет для шахтёров урановых шахт, рудников по добыче полиметаллов, угольных шахт (особенно - с бурым углем), а также работники урановых обогатительных фабрик. Прочее население может быть подвергнуто действию урана (или дочерних продуктов его распада, например, радона) при вдыхании пыли или поглощении воды и пищи. Содержание урана в воздухе обычно очень мало, но рабочие фабрик по производству фосфорных удобрений или жители регионов вблизи предприятий по производству или испытанию ядерного оружия, жители областей, в которых в ходе военных боёв использовалось оружие с обеднённым ураном, или жители вблизи электростанций или теплоцентралей на каменном угле, урановых шахт, обогатительных фабрик и заводов по обогащению урана и производству ТВЭЛов, могут подвергаться действию урана.

Почти весь уран, попавший в организм, быстро выводится из него, но 5% поглощаются телом, если при глотании поступил растворимый уранил-ион, и лишь 0.5% - если поступила нерастворимая форма урана (его оксид). Однако растворимые соединения урана выводятся намного быстрее, чем нерастворимые. Особенно это касается поглощения лёгкими пыли. Вошедший в кровоток уран биоаккумулируется и много лет остаётся в костях (из-за склонности образовывать фосфаты). Через кожный покров уран в организм проникнуть не может.

При большом потреблении уран поражает почки, поскольку является токсичным металлом (вне связи с его радиоактивностью, довольно слабой). Уран - также репродуктивный яд. Радиологические эффекты являются локальными, из-за малого пробега  $\alpha$ -частиц, образующихся при распаде  $^{238}\text{U}$ . Установлено, что уранил ионы,  $\text{UO}_2^+$ , входящих в триоксид урана, уранилнитрат или другие соединения шестивалентного урана вызывают у лабораторных животных врожденные дефекты и повреждения иммунной системы. Уран не приводит к возникновению рака у человека, но продукты его распада, особенно радон, могут вызывать онкологические заболевания. Изотопы типа стронция-90, йода-90 и других продуктов деления не возникают сами собой из урана, но они могут проникнуть в организм человека в ходе некоторых медицинских процедур, при контакте с отработанным ядерным топливом или с выпадениями после испытания атомного оружия. Известны случаи случайной ингаляции гексафторида урана высокой концентрации, приведшие к смертям, но они не связаны с ураном как таковым. Тонко размолотый металлический уран пожароопасен из-за своей пирофорности и спонтанности малых частиц урана спонтанно загораться в воздухе даже при комнатной температуре.

### 10.1 Токсичность урана

Уран и его соединения токсичны для человеческого организма. Токсичность основывается как на радиоактивных свойствах урана, так и на его химическом воздействии на обмен веществ. Отравления ураном и его соединениями возможны на предприятиях по добыче и переработке уранового сырья и других промышленного объектах, где он используется в технологическом процессе.

В тоже время уран совершенно необходим для нормальной жизнедеятельности животных и растений.

В человеческом организме естественным образом содержится в среднем  $0,09 \text{ г}$  урана. Он распределен в организме так: примерно 66% в скелете, 16% в печени, 8% в почках и 10% в других тканях. Человек может постепенно накапливать содержание урана в организме во время незащищенного контакта с металлическим ураном, причем риск для здоровья пропорционален степени облучения.

В организм животных и человека уран поступает с пищей и водой в желудочно-кишечный тракт, с воздухом в дыхательные пути, а также через кожные покровы и слизистые оболочки. Среднее поступление урана в организм обывателя с пищей  $0,07 - 1,1 \text{ микрограмм/день}$ . Соединения уран всасываются в желудочно-кишечном тракте - около 1% от поступающего количества растворимых соединений и не более 0,1% труднорастворимых; в легких всасываются соответственно 50% и 20%. Распределяется уран в

организме неравномерно. Основное депо (места отложения и накопления) - селезенка, почки, скелет, печень и, при вдыхании труднорастворимых соединений, - легкие и бронхолегочные лимфатические узлы. В крови уран (в виде карбонатов и комплексов с белками) длительно не циркулирует. Содержание урана в органах и тканях животных и человека не превышает  $10^{-7}$  г/г. Так, кровь крупного рогатого скота содержит  $1 \cdot 10^{-8}$  г/мл, печень  $8 \cdot 10^{-8}$  г/г, мышцы  $4 \cdot 10^{-11}$  г/г, селезенка  $9 \cdot 10^{-8}$  г/г. Содержание урана в органах человека составляет: в печени  $6 \cdot 10^{-9}$  г/г, в легких  $6 \cdot 10^{-9}$ - $9 \cdot 10^{-9}$  г/г, в селезенке  $4,7 \cdot 10^{-9}$  г/г, в крови  $4 \cdot 10^{-9}$  г/мл, в почках  $5,3 \cdot 10^{-9}$  (корковый слой) и  $1,3 \cdot 10^{-9}$  г/г (мозговой слой), в костях  $1 \cdot 10^{-9}$  г/г, в костном мозге  $1 \cdot 10^{-9}$  г/г, в волосах  $1,3 \cdot 10^{-7}$  г/г. Среднее содержание урана в организме человека  $9 \cdot 10^{-5}$  г. Эта величина для различных районов может варьировать.

Уран, содержащийся в костной ткани, обуславливает её постоянное облучение (период полувыведения урана из скелета около 300 сут). Наименьшие концентрации урана – в головном мозге и сердце ( $10^{-10}$  г/г). Суточное поступление урана с пищей и жидкостями –  $1,9 \cdot 10^{-6}$  г, с воздухом –  $7 \cdot 10^{-9}$  г. Суточное выведение урана из организма человека составляет: с мочой  $0,5 \cdot 10^{-7}$ – $5 \cdot 10^{-7}$  г, с калом –  $1,4 \cdot 10^{-6}$ – $1,8 \cdot 10^{-6}$  г, с волосами –  $2 \cdot 10^{-8}$  г. Независимо от путей поступления в организм выделение урана происходит в основном с калом и мочой. Большая часть урана, поступившего в организм, выделяется в первые 24 ч.

Токсическое действие урана зависит от растворимости его соединений: более токсичны уранил и других растворимые соединения урана. У взрослых людей в организме задерживается в 1,1%, у подростков - 1,8% суточного поступления. Нитрат уранила, фторид уранила, оксид урана (VI), хлорид урана (V), диуранаты аммония и натрия могут в значительных количествах всасываться через кожу. Нерастворимые соединения урана ( $^{238}\text{UO}_2$ ,  $^{238}\text{UO}_4$ ,  $^{238}\text{U}_3\text{O}_8$ ) практически через кожу не всасываются. Растворимые соединения урана быстро всасываются в кровь и разносятся по органам и тканям. По удельному содержанию урана в ранние сроки (1-4 ч) почки занимают первое место по сравнению с другими органами. В скелете в ранние сроки урана откладывается не более 0,1%. До 4 сут происходит накопление урана в значительных количествах. Через 16 сут происходит медленное выведение его из организма с  $T_{66}$ , равным 150-200 сут. В отдаленные сроки кости (критический орган) содержат более 90 % всего отложившегося в организме урана.

На характер распределения урана в организме существенное влияние оказывает его валентность. При внутривенном введении шестивалентный уран накапливается в почках до 20%, в костях - от 10 до 30%; совсем незначительные количества откладываются в печени. Четырехвалентный уран, наоборот, накапливается в большем количестве в печени и селезенке - до 50%, в костях и почках - 10 - 20%. Это, по-видимому, связано с тем, что четырехвалентный уран легко присоединяется к белкам и не проникает через мембраны, а шестивалентный уран такими свойствами не обладает.

Химическая токсичность соединений урана сильно колеблется в зависимости от типа вещества. На основании экспериментов, проведенных на животных, установлены следующие закономерности: а) даже в больших дозах относительно не ядовиты:  $\text{UO}_2$ ,  $\text{U}_3\text{O}_8$ ,  $\text{UF}_4$  (практически нерастворимые соединения), однако они могут быть опасны при вдыхании; б) в больших дозах ядовиты:  $\text{UO}_3$ ,  $\text{UCU}$  (медленно растворяются в организме); в) в умеренных количествах ядовиты:  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{UO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$  (растворимые соединения); г) даже в малых дозах сильно ядовиты:  $\text{UO}_2\text{F}_2$ ,  $\text{UF}_6$  (токсичность урана усиливается токсичностью аниона). Таким образом, химическая токсичность урана и его соединений близка к токсичности ртути или мышьяка и их соединений. Следует отметить, что соединения уранила (например,  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ ) растворяются в липидах и могут проникать через неповрежденную кожу.

При попадании в организм уран действует на все органы и ткани, являясь общеклеточным ядом. Признаки отравления обусловлены преимущественным поражением почек (появление белка и сахара в моче); поражаются также печень и желудочно-кишечный тракт. Различают острые и хронические отравления; последние характеризуются постепенным развитием и меньшей выраженностью симптомов. При хронической интоксикации возможны нарушения кроветворения, нервной системы и др. Полагают, что молекулярный механизм действия урана связан с его способностью подавлять активность ферментов.

Очень подвержены влиянию радиации глаза человека. Наиболее уязвимая часть глаза – хрусталик. Под воздействием радиации происходит постепенное его помутнение (погибшие клетки становятся непрозрачными). Разрастание помутневших участков приводит сначала к катаракте, а затем и к полной слепоте. Причем, чем больше доза, тем больше потеря зрения. Кроме глаз повышенной чувствительностью к облучению обладают репродуктивные органы (дозы свыше 2 грэев могут привести к постоянной стерильности мужчин). А если подвергнуть облучению беременную женщину между восьмой и пятнадцатой неделями беременности (в этот период у плода формируется кора головного мозга), то существует большая вероятность рождения умственно отсталого ребенка.

Особенно опасны аэрозоли урана и его соединений. Для аэрозолей растворимых в воде соединений урана ПДК в воздухе  $0,015 \text{ мг/м}^3$ , для нерастворимых форм урана ПДК  $0,075 \text{ мг/м}^3$ . В легких человека, случайно вдохнувшего  $^{238}\text{U}_3\text{O}_8$ , через 1,5 года определяется не более 3% поступившего количества.

Острая и хроническая урановая интоксикация характеризуются политропным действием урана на различные органы и системы. Растворимые и нерастворимые соединения урана вызывают однотипный характер поражения, разница заключается лишь в скорости развития интоксикации и степени тяжести поражения. В ранние сроки воздействия преобладает химическая токсичность элемента, в поздний период оказывает действие радиационный фактор. При длительном поступлении в организм труднорастворимых соединений урана, когда наблюдается биологическое действие урана, как  $\alpha$ -излучателя, развивается хроническая лучевая болезнь.

**Табл. 28.** Биологические периоды полувыведения урана при ингаляционном поступлении.

Объект исследования	Соединение	T <sub>6</sub> из легких, сут	T <sub>6</sub> из почек, сут	T <sub>6</sub> из скелета, сут
Крысы	$^{238}\text{U}_2\text{O}_7(\text{NH}_4)_2$	2(80%)	1,8(43%)	2,4(76%)
		30-40 (15%)	16-32 (57%)	250-300 (24%)
		240(5%)	–	512(15%)
Собаки	$^{238}\text{UO}_2$	200	18-16	400
		$^{238}\text{U}_3\text{O}_8$	120	16
Человек	$^{238}\text{UO}_2 + ^{238}\text{U}_3\text{O}_8$	118-150	–	450

Механизм действия растворимых и нерастворимых соединений урана весьма разнообразен. Уран может вызывать не только функциональные, но и органические изменения, как в результате непосредственного (прямого) действия на организм, так и опосредовано через центральную нервную систему и железы внутренней секреции. Полиморфизм поражения урана обусловлен еще и тем, что воздействие его на организм происходит не в виде чистого соединения, а чаще всего большого комплекса соединений (продуктов распада). В клинике уранового отравления наряду с обширной патологией различных органов и систем ведущим является нарушение почек. При ингаляционном воздействии различных соединений урана наблюдаются выраженные симптомы легочной патологии, особенно это выявляется для фторида урана (VI).

В опытах на собаках с ингаляцией  $^{235}\text{U}$ , обладающего значительно большей радиоактивностью, чем  $^{238}\text{U}$ , в отдаленные сроки возникают злокачественные новообразования в легких. В этом случае биологический эффект обусловлен не только химическими свойствами урана, но в большей степени его радиационным действием за счет  $\alpha$ -излучения.

**Табл. 29.** Предельно допустимые концентрации урана в воде, воздухе и человеческом организме, обусловленные радиационной токсичностью

Изотоп	E <sub><math>\alpha</math></sub> , МэВ	Предельно допустимая концентрация				Предельно допустимое поступление в организм	
		в воде		в воздухе		в организм	
		мкКи/мл	мкКи/мл	мкКи/мл	мкКи/мл	мкКи	мкг
Природный U в растворимом состоянии	4,43	$7 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-11}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	0,2	$3,1 \cdot 10^5$
Природный U в нерастворимом состоянии	4,43	–	–	$1,7 \cdot 10^{-11}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	0,009	$1,4 \cdot 10^4$
	$^{235}\text{U}$	4,58	–	–	$3,0 \cdot 10^{-10}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	0,009
$^{233}\text{U}$ в растворимом состоянии	4,9	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	0,04	4,2
$^{233}\text{U}^{233}\text{U}$ в нерастворимом состоянии	4,9	–	–	$1,6 \cdot 10^{-11}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$	0,008	0,84

## 10.2 Гигиенические нормативы

В Табл. 27 помещены полученные экспериментально значения максимально допустимых концентраций важнейших изотопов урана (для  $\alpha$ -активности). Допустимо длительное поступление в человеческий организм только 310 мг природного (или обогащенного) урана без ущерба для здоровья. Важно понимать, что навески, содержащие, например, 31 г природного урана, соответствуют уже 100-кратному предельно допустимому количеству.

**Табл. 30.** Гигиенические нормативы урана.

	Группа радиационной опасности	МЗА, Бк
$^{230}\text{U}$ , $^{233}\text{U}$ , $^{234}\text{U}$ и уран обогаченный, $^{235}\text{U}$ , $^{235}\text{U}$	Б	$3,7 \cdot 10^4$
$^{232}\text{U}$	А	$3,7 \cdot 10^3$
$^{238}\text{U}$	Г	$3,7 \cdot 10^6$ (300 г)
$^{240}\text{U}$	В	$3,7 \cdot 10^5$
Уран естественный	Г	$3,7 \cdot 10^6$ (300 г)

**Табл. 31.** Нормативы поступления урана

Радионуклид	Состояние радионуклида в соединении	Критический орган	ДС <sub>А</sub> , Бк	ПДП, Бк/год	ДКА, Бк/л
$^{230}\text{U}$	Р	Кость	$1,1 \cdot 10^2$	$5,2 \cdot 10^4$	—
		Почки	12,5	$1,3 \cdot 10^4$	—
$^{232}\text{U}$	НР	Легкие	0,4	$0,5 \cdot 10^4$	$19,2 \cdot 10^4$
		Кость	$1,7 \cdot 10^2$	$5,2 \cdot 10^4$	—
$^{233}\text{U}$	Р	Почки	21,0	$1,3 \cdot 10^4$	—
		Легкие	$0,7 \cdot 10^2$	$0,1 \cdot 10^4$	$4,8 \cdot 10^4$
$^{234}\text{U}$ и обогаченный	Р	Почки	$0,9 \cdot 10^2$	$5,2 \cdot 10^4$	—
		Кость	$8,1 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^4$	—
$^{235}\text{U}$	НР	Легкие	$2,9 \cdot 10^2$	$0,5 \cdot 10^4$	$20,7 \cdot 10^4$
		Почки	$0,9 \cdot 10^2$	$5,6 \cdot 10^4$	—
$^{236}\text{U}$	Р	Кость	$8,5 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^4$	—
		Почки	$3,0 \cdot 10^2$	$0,5 \cdot 10^4$	$20,4 \cdot 10^4$
$^{238}\text{U}$	НР	Почки (хим. токсичность)	$0,4 \cdot 10^2$	$2,3 \cdot 10^4$	—
		Кость	$8,9 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^4$	—
Уран естественный	Р	Легкие	$3,2 \cdot 10^2$	$0,6 \cdot 10^4$	$22,2 \cdot 10^4$
		Кость	$8,9 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^4$	—
$^{240}\text{U}$	НР	Почки	$0,9 \cdot 10^2$	$5,6 \cdot 10^4$	—
		Легкие	$3,1 \cdot 10^2$	$0,5 \cdot 10^4$	$20,7 \cdot 10^4$
Уран естественный	Р	Почки (хим. токсичность)	11,5	$0,7 \cdot 10^4$	—
		Кость	0,9 мг	550мг/год	—
		Легкие	$9,6 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^4$	—
		Почки (хим. токсичность)	$3,4 \cdot 10^2$	$0,6 \cdot 10^4$	$23,3 \cdot 10^4$
Уран естественный	НР	Почки (хим. токсичность)	22,9	$1,4 \cdot 10^4$	—
		Кость	0,9 мг	550мг/год	—
$^{240}\text{U}$	Р	Кость	$8,9 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^4$	—
		Легкие	36 мг	1100мг/год	—
$^{240}\text{U}$	НР	Легкие	$3,2 \cdot 10^2$	$0,6 \cdot 10^4$	$22,0 \cdot 10^4$
		ЖКТ(НТК)	13 мг	220мг/год	$8,8 \cdot 10^{-5}$ мг/мл
$^{240}\text{U}$	НР	ЖКТ(НТК)	—	$20,4 \cdot 10^6$	—
		ЖКТ(НТК)	—	$16,3 \cdot 10^6$	6,7

Гигиенические нормативы зависят от изотопа урана и различны для различных групп населения (см. **Табл. 30**, где группы с индексами А, Б – характеристика нуклида, как опасного потенциального источника внутреннего облучения в порядке убывания радиационной опасности, МЗА – минимально значимая активность, т.е. - активность открытого источника ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов государственной санитарно-эпидемиологической службы на использование этих источников, если при этом также превышено значение минимально значимой удельной активности, Р – растворимое соединение, НР- нерастворимое соединение, Ж – желудок, ТК – толстый кишечник, НТК – нижний отдел толстого кишечника, ДСА- допустимое содержание радионуклида в критическом органе, ПДП- предельно допустимое поступление радионуклида организм через органы дыхания, ДКА – допустимая концентрация радионуклида в воздухе рабочей зоны).

МКРЗ (Международная комиссия по радиационной защите) для изотопов урана в условиях 40- часовой рабочей недели рекомендует нормативы, представленные в **Табл. 31**, где ПП – предел годового поступления в организм, ПКВ – предельная концентрация радионуклида в воздухе при 40-часовой рабочей недели.

### 10.3 Поглощённая доза

Важной проблемой является оценка дозы внутреннего  $\alpha$ -облучения человека (например, шахтёра уранового рудника или обычного обывателя), за счёт естественных радионуклидов уранового и ториевого ряда, основная масса которых концентрируется в скелете. Трудность расчёта связана с тем, что дозу создают не только материнские нуклиды (уран и торий), но и многочисленные продукты их распада – генетически связанные радионуклиды, активность которых сложным образом изменяется во времени. Основные радионуклиды –  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{210}\text{Pb}$  – равномерно распределены по всему объёму минеральной кости, а  $^{232}\text{Th}$  концентрируется в основном в костных поверхностях. Средняя концентрация  $^{238}\text{U}$  в костной ткани составляет 150 мБк/кг с колебаниями от 20 до 200 мБк/г. Для  $^{226}\text{Ra}$  в костной ткани средняя концентрация 170 мБк/кг, для  $^{210}\text{Pb}$  – 84 мБк/кг. Указанные концентрации обуславливают годовую поглощённую дозу облучения костных клеток и красного костного мозга.

Оценки годовых поглощённых доз от некоторых природных радионуклидов даны в **Табл. 32**, где в знаменателе – пределы колебаний дозы в популяциях, связанные, по-видимому, с различиями рациона питания и биологическими особенностями индивидуумов. Видно, что основной вклад в дозу, полученную как костными клетками, так и костным мозгом, вносит  $^{210}\text{Po}$ .

**Табл. 32.** Годовые дозы от природных радионуклидов, поглощённые рядовым обывателем.

Радионуклид	Доза, $10^{-7}$ Гр	
	Костные клетки	Костный мозг
$^{238}\text{U}$	18/(13-22)	2,2/(1,7-2,8)
$^{234}\text{U}$	21/(16-26)	2,6(1,9-3,2)
$^{226}\text{Ra}$	42/(22-63)	3,7(2,0-5,8)
$^{210}\text{Po}$ - $^{210}\text{Pb}$	325/(216-408)	45/(30-57)
$^{232}\text{Th}$	72/(50-112)	7,1(4,3-9,5)

Предельные нормы ионизирующего облучения: 1 мЗв за год для населения вообще и 20 мЗв в среднем за год на протяжении пяти лет для лиц, работающих в радиационной обстановке (НРБ–99). При больших дозах радиация вызывает повреждение ткани органов, может вызвать изменения на генетическом уровне и даже гибель организма. Повреждение генетического аппарата грозит врожденными пороками развития и другими наследственными заболеваниями в следующих и последующих поколениях.

### 10.4 Техника безопасности при работе с ураном

Металлический уран, особенно в тонкоизмельченном состоянии, пирофорен и может спонтанно воспламеняться. В результате сгорания получается дым оксида урана, который легко проникает в организм человека, что может привести к отравлениям. Очень тонкоизмельченный металлический уран (или гидрид урана) может воспламениться со вспышкой. Поэтому тонкоизмельченный металлически» уран (порошок, опилки, вата, отходы) следует хранить в безопасном в пожарном отношении месте: нужно, если возможно, держать материалы в атмосфере защитного газа или жидкости (например, под маслом), причем в последнем случае жидкость должна покрывать уран полностью. Выступающие части легко загораются чуть выше мениска жидкости. Механическую обработку урана следует по возможности производить на станках, установленных в боксах в атмосфере аргона или гелия. При резании компактного куска или при работе с порошком урана нужно пользоваться респиратором.

Для ликвидации остатков металлического урана пригодны следующие способы:

1. Сплавление в компактный кусок в высоком вакууме или в расплаве  $\text{BaCl}_2$ .
2. «Мокрое сжигание» под водой с помощью струи горячего пара.
3. «Сухое сжигание» на стальной пластинке под хорошо работающей тягой.
4. Растворение в  $\text{HNO}_3$  с образованием раствора  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ .

Гашение горящего урана следует осуществлять по возможности без воды. Можно использовать сухой песок, поваренную соль, графитовый порошок или специальные порошковые огнетушители. Особая взрывоопасность возникает при распылении металлического урана или гидрида урана в воздухе. Нижний предел взрывоопасной концентрации 45-120 мг/л. Порошок урана может очень сильно взрываться при обработке галогеносодержащими углеводородами, например» при обезжиривании тетрахлоридом углерода, поэтому следует остерегаться использования трихлорэтилена для обезжиривания металлического урана, тогда как применение дихлорэтилена безопасно. При обработке урана эфиром с примесью пероксидов может произойти взрыв. Чтобы предотвратить образование пероксидов, следует поместить в эфир медные опилки. При прессовании порошка урана в компактные куски в гидравлическом прессе может произойти взрыв внутри пресс-формы. Поэтому целесообразно такие работы производить за защитным экраном.

При восстановлении галогенидов урана до металла в закрытом сосуде, особенно если взят сырой материал, может развиваться слишком высокое давление, вследствие чего возможен взрыв реактора. Поэтому восстановление всегда следует вести за защитным экраном и предохранять заполненный веществом

закрытый реакционный сосуд от толчков, ударов и преждевременного нагревания. При растворении или травлении различных сплавов U с цирконием азотной кислотой, содержащей HF, может произойти очень сильный взрыв. Этого можно избежать, если смешивать HF с HNO<sub>3</sub>, по крайней мере, в молярном соотношении 4:1.

Определены следующие правила работы с ураном и его соединениями:

1. Никогда не отбирать растворы ртом через пипетку.
2. Носить перчатки (хирургические резиновые).
3. Использовать защитную одежду (в особых случаях специальную обувь).
4. Если может возникнуть опасность вдыхания пыли соединений урана, надевать противопылевую маску.
5. Никогда не курить и не есть в лаборатории.
6. Рабочее место содержать в абсолютной чистоте. Допустимы следующие концентрации на поверхностях: 134 мкг/см<sup>2</sup> <sup>238</sup>U, 21 мкг/см<sup>2</sup> <sup>235</sup>U, 4,72 нг/см<sup>2</sup> <sup>233</sup>U.
7. Рабочее помещение всегда хорошо проветривать.
8. Если возможно, работать в сухой камере.
9. Рабочие места, помещения и одежду периодически проверять на α-активность.

Следует соблюдать особую осторожность, если необходимо использовать сверхкритические количества делящихся изотопов <sup>233</sup>U и <sup>235</sup>U. Критическое состояние довольно сложным образом зависит от геометрии, концентрации урана и замедлителя и материала отражателя. На основании экспериментальных исследований установлены значения минимальной критической массы, т. е. того количества урана, которое при благоприятных условиях соответствует критическому состоянию. Для растворов <sup>233</sup>U критическая масса составляет 591 г, для растворов <sup>235</sup>U - 856 г. Если возможно, следует ограничивать количество урана при работе в лаборатории половиной этих значений и менее. В этом случае можно до некоторой степени не опасаться критического состояния, так как даже если случайно в лаборатории окажется еще такое же количество делящегося материала, то и тогда критическая масса не будет достигнута. Если невозможно избежать работы со сверхкритическими количествами, например с навесками порядка килограммов при обогащении или восстановлении металла, нужно принять специальные меры предосторожности во время эксперимента. *Безусловно, следует привлечь специалиста.* К этому нужно относиться особенно серьезно, так как речь идет о чрезвычайно коварном явлении.

### **10.5 Профилактика отравлений ураном**

Профилактика отравлений ураном на производстве предусматривает непрерывность технологических процессов, использование герметичной аппаратуры, предупреждение загрязнения воздушной среды, очистка сточных вод перед спуском их в водоёмы, медицинский контроль за состоянием здоровья рабочих, за соблюдением гигиенических нормативов допустимого содержания урана и его соединений в окружающей среде.

Основным вредным фактором при добыче урана являются α-активные аэрозоли и радон. С целью профилактики на рудниках проводят мероприятия, обеспечивающие активное проветривание. При переработке руд, получении солей и т. д. необходимо увлажнение руды, механизация и автоматизация производственных процессов. Механическая вентиляция с 5-7-кратным воздухообменом. Работы с ураном и его соединениями проводят с соблюдением санитарных правил и норм радиационной безопасности.

### **10.6 Неотложная помощь**

Дезактивация кожи водой с мылом или содовым раствором. Внутрь раствор двузамещенного фосфата натрия 10:200, слизистые отвары, молоко, яичный белок. Промывание желудка. После очистки желудка - повторно двузамещенный фосфат натрия. При ингаляционном поражении - вдыхание аэрозоля 5 % пентафацина или фосфицина. При болях - внутрь белладонна, атропин (1:100 - 0,5мл). При неукротимой рвоте - витамин Вх с глюкозой, аминазин в/м (0,5% - 5,0 мл). Внутрь солевые слабительные (сернокислый натрий или магний 30:210). В/в 5% раствор пентафацина 40 мл или 10% раствор фосфицина - 20 мл. Фонуриг 0,25 г в первые часы после интоксикации, как специфическое средство, предупреждающее поражение почек. Капельное вливание 5% раствора натрия двууглекислого (50,0—100,0 мл). Очистительные клизмы.

При поражении фторидом урана (VI) — немедленно обильное обмывание водой пораженных участков кожи и слизистых оболочек. Обмывание 2 % раствором двууглекислого натрия. Содовые ингаляции, примочки, ванночки. При попадании в желудок внутрь жженную магнезию, глюконат кальция, слизистые отвары. Вдыхание кислорода, карбогена. При спазме голосовой щели - атропин (1:1000- 0,5 мл). При неукротимой рвоте - аминазин в/м (0,5 % - 0,5 мл). Назначение глюконата кальция, хлористого кальция (10 % - 20,0 мл с 40 % глюкозой - 20,0 мл). Очистительные клизмы, мочегонные - фонуриг 0,25 г.