

4. КАЛИФОРНИЙ

Калифорний, Californium, Cf, атомный номер 98, атомный вес 251. Название по месту открытия (штат Калифорния, США). Радиоактивен, наиболее устойчивый изотоп ^{251}Cf ($T = 900$ лет). Т.пл. 900°C . Источник нейтронов в активационном анализе, медицине. Получен искусственно в 1950 на циклотроне С. Томпсоном, А. Гиорсо, К. Стритом и Г. Сиборгом по ядерной реакции $^{242}\text{Cm} (d, n)^{245}\text{Cf}$. Назван в честь Калифорнийского университета в Беркли, где и был получен. Этим названием авторы хотели указать, что открыть новый элемент им было так же трудно, как век назад пионерам Америки достичь Калифорнии.

Периодическая система элементов																	
<u>H</u>																	<u>He</u>
<u>Li</u>	<u>Be</u>											<u>B</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	<u>F</u>	<u>Ne</u>
<u>Na</u>	<u>Mg</u>											<u>Al</u>	<u>Si</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cl</u>	<u>Ar</u>
<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Sc</u>	<u>Ti</u>	<u>V</u>	<u>Cr</u>	<u>Mn</u>	<u>Fe</u>	<u>Co</u>	<u>Ni</u>	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	<u>Ga</u>	<u>Ge</u>	<u>As</u>	<u>Se</u>	<u>Br</u>	<u>Kr</u>
<u>Rb</u>	<u>Sr</u>	<u>Y</u>	<u>Zr</u>	<u>Nb</u>	<u>Mo</u>	<u>Tc</u>	<u>Ru</u>	<u>Rh</u>	<u>Pd</u>	<u>Ag</u>	<u>Cd</u>	<u>In</u>	<u>Sn</u>	<u>Sb</u>	<u>Te</u>	<u>I</u>	<u>Xe</u>
<u>Cs</u>	<u>Ba</u>	*	<u>Hf</u>	<u>Ta</u>	<u>W</u>	<u>Re</u>	<u>Os</u>	<u>Ir</u>	<u>Pt</u>	<u>Au</u>	<u>Hg</u>	<u>Tl</u>	<u>Pb</u>	<u>Bi</u>	<u>Po</u>	<u>At</u>	<u>Rn</u>
<u>Fr</u>	<u>Ra</u>	**	<u>Rf</u>	<u>Db</u>	<u>Sg</u>	<u>Bh</u>	<u>Hs</u>	<u>Mt</u>	<u>Ds</u>	<u>Rg</u>	<u>Uub</u>	<u>Uut</u>	<u>Uuq</u>	<u>Uup</u>	<u>Uuh</u>	<u>Uus</u>	<u>Uuo</u>
* <u>La</u> <u>Ce</u> <u>Pr</u> <u>Nd</u> <u>Pm</u> <u>Sm</u> <u>Eu</u> <u>Gd</u> <u>Tb</u> <u>Dy</u> <u>Ho</u> <u>Er</u> <u>Tm</u> <u>Yb</u> <u>Lu</u> ** <u>Ac</u> <u>Th</u> <u>Pa</u> <u>U</u> <u>Np</u> <u>Pu</u> <u>Am</u> <u>Cm</u> <u>Bk</u> <u>Cf</u> <u>Es</u> <u>Fm</u> <u>Md</u> <u>No</u> <u>Lr</u>																	

В 1952 году среди новых ядер, извлеченных из продуктов термоядерного испытания Ivy Mike, был обнаружен удивительный изотоп калифорний-254. Удивительный потому, что главным видом его распада оказалось спонтанное деление. Удивительной оказалась и энергетика этого изотопа. Удельную мощность калифорниевого источника трудно назвать иначе, как гигантской, - 10000 квт/кг!

Известно 15 радиоактивных изотопов калифорния с массовыми числами 240—256. Из них следующие относительно устойчивы и могут быть получены в макроколичествах при длительном облучении урана или плутония нейтронами: ^{249}Cf ($T = 360$ лет), ^{250}Cf (13,2 лет), ^{251}Cf (> 800 лет) и ^{252}Cf (2,65 лет.). Средняя энергия α -излучения ^{244}Cf , ^{246}Cf , ^{248}Cf , ^{249}Cf , ^{250}Cf , ^{251}Cf , ^{252}Cf , ^{253}Cf , ^{254}Cf равна соответственно 7,32; 6,86; 6,36; 5,92; 6,12; 5,88; 6,02; $1,88 \cdot 10^{-2}$; $1,84 \cdot 10^{-2}$ МэВ/Бк.с).

В 1999 обнаружено спонтанное тройное холодное деление ядра ^{252}Cf . Другими словами, удалось зарегистрировать самопроизвольный развал этого ядра на три осколка - ^{10}Be , ^{96}Sr и ^{146}Ba .

Первые твёрдые соединения калифорния — $^{249}\text{Cf}_2\text{O}_3$ и $^{249}\text{CfOCl}$ приготовлены в 1958. Наиболее типичная степень окисления калифорния, как и других тяжёлых актиноидов, +3; менее типична +2. От других актиноидов калифорний отделяют экстракционными и хроматографическими методами. Препараты ^{252}Cf могут быть использованы как мощные малогабаритные источники нейтронов

Существует, по-видимому, в двух модификациях: гексагональной и орторомбической. Т. плав, около 900°C . Известны соединения, в которых калифорний проявляет степени окисления + 2, +3 и +4. Единственным стабильным состоянием элемента является трехвалентное. Калифорний образует соединения с кислородом (Cf_2O_3 , $\text{Cf}_2\text{O}_3\text{x}$, CfO_2), серой (Cf_2S_3), галогенами (галогениды: CfF_3 , CfCl_3 , CfBr_3 , CfI_3 , CfF_4 - оксигалогениды (CfOF , CfOCl , CfOBr). Получены металлоорганические соединения — $\text{Cf}(\text{C}_5\text{H}_5)_3$ и комплексные соединения со многими минеральными и органическими кислотами.

В растворе ионы Cf^{3+} в зависимости от pH и наличия лигандов, могут быть гидратированы или находиться в комплексе с другими (соединениями). В очень кислых растворах, в среде HClO_4 и в отсутствие комплексообразователей ионы элемента гидратированы и имеют состав $\text{Cf}(\text{H}_2\text{O})^{3+}$ -н. С ростом pH раствора степень гидролиза ионов калифорния, как и других трансплутониевых элементов, возрастает. В щелочной среде большая часть их гидролизирована.

Калифорний / Californium (Cf)	
Атомный номер	98
Внешний вид	мощный источник нейтронов
Свойства атома	
Атомная масса (молярная масса)	251,0796 а.е.м. (г/моль)
Радиус атома	295 пм
Электронная конфигурация	[Rn] $5f^{10} 7s^2$
Химические свойства	

<u>Электроотрицательность</u> (по Полингу)	1,3
<u>Электродный потенциал</u>	Cf←Cf ³⁺ -1,93 В Cf←Cf ²⁺ -2,1 В
<u>Степени окисления</u>	4, 3
Термодинамические свойства	
<u>Плотность</u>	15,1 г/см ³
<u>Температура плавления</u>	900 К

Табл. 5. Известные изотопы калифорния.

Изотоп	Атомная масса	Период полураспада	Вид распада
Cf-242	242.06372	3.3 мин	альфа в Cm-238
Cf-243	243.065	11 мин	альфа в Cm-239
Cf-244	244.06599	20 мин	альфа в Cm-240
Cf-245	245.06807	44 мин	альфа в Cm-241
Cf-246	246.06884	36 час	альфа в Cm-242; самопроизв. (0.2%)
Cf-247	247.0712	3.11 час	захват электрона в Bk-247 (99.97%)
Cf-248	248.07218	334 дн	альфа в Cm-244; самопроизв. (0.013%)
Cf-249	249.07485	351 лет	альфа в Cm-245; самопроизв. (5.2*10 ⁻⁷ %)
Cf-250	250.07640	13.1 лет	альфа в Cm-246; самопроизв. (0.079%)
Cf-251	251.079580	898 лет	альфа в Cm-247
Cf-252	252.08162	2.64 лет	альфа в Cm-248; самопроизв. (3.08%)
Cf-253	253.08513	17.8 дн	альфа в Cm-249; бета в Es-253
Cf-254	254.08732	60.5 дн	самопроизв. (> 99%); альфа в Cm-250 (< 1%)
Cf-255	255.0910	1.4 час	бета в Es-255

Калифорний-252 интересен эффектом спонтанного тройного холодного деления: ядро ²⁵²Cf самопроизвольно распадается на три осколка - ¹⁰Be, ⁹⁶Sr и ¹⁴⁶Ba.

Получить весовые количества калифорния в ядерных реакциях с заряженными частицами - задача практически невыполнимая: слишком мал выход этого элемента при слиянии двух атомных ядер. Поэтому калифорний сегодня получают, облучая тяжелые изотопы плутония и кюрия в нейтронных потоках мощных ядерных реакторов, построенных специально для производства трансуранов. Иначе, в обычном котле, накопление калифорния будет происходить слишком медленно. Потребуется десятки лет, чтобы плутоний или кюрий превратились в элемент №98. На пути плутоний→калифорний в осколки превращаются 9999 ядер из 10000. В конечном итоге на один грамм калифорния затрачивается 10 килограммов ²³⁹Pu. И все же потери в реакторе в тысячи раз меньше потерь при синтезе калифорния в пучке ускоренных ядер. Изотоп ²⁵²Cf по существу замыкает цепочку плутоний-калифорний. Это ядро слабо взаимодействует с нейтронами, его очень трудно превратить в еще более тяжелые изотопы. ²⁵²Cf становится как бы естественным "тупиком" в реакторной цепи превращений плутония. Поэтому в тупике и скапливаются в основном ядра изотопа ²⁵²Cf, а более легкие изотопы - ²⁴⁹Cf, ²⁵⁰Cf, ²⁵¹Cf - получают в гораздо меньших количествах, хотя и стоят в предыдущих звеньях цепи превращений. На пути от плутония до калифорния 99.7% всех ядер распадается, и лишь 0.3% пройдут всю цепочку превращений.



Рис. 1. Ядерные превращения при переходе от плутония к калифорнию

Лучше всего изучен изотоп ²⁵²Cf. Он оказался незаменимо полезен для многих физических исследований. Хотя основной вид его распада - α-распад, интенсивность параллельного спонтанного деления достаточно велика (3.08%). Микрограмм ²⁵²Cf в единицу времени дает столько же ядер-осколков, сколько микрограмм урана при интенсивном облучении нейтронами в ядерном реакторе. Поэтому его применяют

для изучения осколков деления. Главное применение калифорния - изготовление мощных и чрезвычайно компактных источников нейтронов. Грамм ²⁵²Cf испускает 3*10¹² нейтронов в секунду. Он применяется в качестве пусковых источников нейтронов для ядерных реакторов, нейтронного каротажа (определении нефтяных пластов по характеру отражения нейтронов средой).

Калифорний получил известность за свою чрезвычайно малую критическую массу, якобы в "диапазоне грамм", создавая множество спекуляций по поводу возможности создания "карманных" ядерных бомб. Так же как и у других трансурановых элементов, нечетные изотопы делятся тепловыми нейтронами и имеют наиболее подходящие свойства деления. Только два изотопа подходящие кандидаты на роль делящегося вещества - долгоживущие ^{249}Cf и ^{251}Cf . Расхожее представление о калифорнии как об оружейном материале обычно сосредотачиваются на ^{252}Cf , вследствие его чрезвычайной нейтронной излучательной способности. Так, число вторичных нейтронов при спонтанном делении у ^{252}Cf очень велико: в среднем на акт деления приходится 3.82 нейтрона. Известно, что даже незначительная прибавка к числу вторичных нейтронов сильно влияет на критическую массу делящегося вещества, уменьшает ее. Однако относительно маленький период полураспада ^{252}Cf , интенсивное и проникающее нейтронное излучение, высокая тепловая мощность делают его достаточно непригодным для оружейного использования. К тому же, даже на десяток граммов калифорния придется переработать 100 кг плутония, а это очень много.

Изотопы калифорния получают при длительном (3—4 года) облучении урана, плутония, америция или кюрия в ядерных реакторах с высокой плотностью потока нейтронов. Изотопы калифорния также могут быть получены в ходе термоядерной реакции. В настоящее время ^{252}Cf получают в ядерных реакторах при длительном облучении ^{239}Pu . Полный выход изотопа составляет $3 \cdot 10^{-3}$, т. е. из 1 кг ^{239}Pu можно получить 3 г ^{252}Cf . Выделение изотопа из смеси трансплутониевых элементов осуществляют ионообменными или хроматографическими методами, либо электрофорезом и экстракцией.

Благодаря испусканию мощного потока нейтронов [$2,3 \cdot 10^{12}$ нейтр/(с-г)] ^{252}Cf применяют как в нейтронно-активационном анализе, так и в нейтронной радиографии; в геологоразведке и при добыче полезных ископаемых; в сталелитейной, химической, нефтеперерабатывающей, угледобывающей промышленности; в ядерной энергетике и авиационно-космической технике. Апробирован метод контактной терапии злокачественных опухолей с использованием источников ^{252}Cf и применение их для нейтронной радиохирургии. Применяется для производства компонентов ядерного оружия (ядерные и термоядерные заряды малой мощности).

Описаны две аварии в радиохимических лабораториях США, в результате которых небольшие количества ^{248}Cf и ^{252}Cf в виде оксидов поступали в органы дыхания. В одном случае удалось ценить динамику выведения ^{249}Cf из легких человека. Снижение удержания радионуклида в легких хорошо описывалось суммой двух экспонент: 17% радионуклида выводилось с $T_{эфф}$, равным 25 сут, 83% — 1210 сут (через 7 сут после инъекции).

При интратрахеальном введении растворимых нитратов, хлоридов ^{252}Cf резорбированная в кровь доля радионуклида достигает у крыс и собак 60—70%. Остальное количество изотопа выводится из легких в ЖКТ. Скорость резорбции калифорния из легких в кровь зависит от вида животного: на 128 сут после введения нитрата ^{252}Cf в легких крыс обнаружен 1%, у собак — 18,4% введенного количества. Наиболее медленно выводющаяся из легких фракция ^{252}Cf у крыс составляет 1,4% ($T_{эфф} = 300$ сут), у собак -20% ($T_{эфф} = 440$ сут). У собак ^{252}Cf выводится в 10 раз медленнее, чем у крыс.

Независимо от пути поступления, химической формы соединения, pH раствора, вида и пола животных поступившая в кровь доля калифорния распределяется в основном между скелетом, печенью и почками. Характерной особенностью распределения ^{252}Cf в организме крыс разного возраста является повышение отложения радионуклида в скелете и соответственно его снижение в печени с уменьшением возраста. Величина отложения калифорния по органам депонирования зависит от вида животного. У китайских хомячков отложение ^{252}Cf в почках в среднем в 5 раз выше, чем у крыс, и достигает 13%. У собак, по сравнению с крысами, при поступлении растворимых солей ^{252}Cf отмечено меньшее отложение в печени и соответственно большее в скелете.

Небольшие количества ^{252}Cf задерживаются длительное время в селезенке (от 0,1 до 1,7%), щитовидной железе (от 0,03 до 0,3%), надпочечниках, яичниках и яичках (от 0,003 до 0,05%). Вследствие небольших размеров этих органов концентрация ^{252}Cf в них может превышать концентрацию радионуклида в органах основного депонирования.

Наиболее медленно калифорний выводится из скелета. Во всех экспериментах, в которых длительность наблюдения превышала 2 года, значение $T_{эфф}$ из скелета ^{252}Cf приближалось к T (965 сут) и находилось в пределах 550—900 сут. Для ^{249}Cf , у которого $T_{1/2} = 351$ года, $T_{эфф}$ из скелета составил 3900 сут. Таким образом, более 70% ^{252}Cf распадается в скелете и только 30% выводится за счет биологических процессов.

Вследствие короткого пробега α -частиц в биологических тканях (~50 мкм) информация об отложении атомов калифорния по микроструктурам органа является первостепенной для точной оценки поглощенной дозы в объеме и объяснения биологических эффектов. В течение первых суток после интратрахеального введения нитрата ^{252}Cf крысам независимо от вводимого количества изотоп равномерно распределяется по всем структурам легочной ткани. Через 3—7 сут наряду с участками равномерного распределения α -треков

появляются участки более плотного скопления треков – «звезды». Со временем неравномерность распределения калифорния, характеризующаяся «звездами», увеличивается.

Раннее отложение калифорния в мягких тканях наблюдалось как внутри клеток, так и вне их. Внеклеточное отложение обусловлено агрегацией радионуклида по волокнам соединительной ткани. Первоначальное отложение калифорния в печени крыс является однородным по всей ткани органа, связано с гепатоцитами и в меньшей степени с клетками ретикулоэндотелия. Высокая концентрация радионуклида наблюдается вокруг центральных вен. В отдаленные сроки микрораспределение становится неравномерным: на гисто-радиограммах в это время обнаруживаются единичные треки между большими скоплениями радионуклида — «звездами». По данным автордиограмм срезов почек крыс, максимальная концентрация калифорния отмечается в ранние сроки в корковом слое с единичными «горячими пятнами» в мозговом веществе.

Биологический эффект обуславливается ионизирующим излучением, образующимся при ядерных превращениях изотопов калифорния. Ядерные превращения ^{252}Cf сопровождаются образованием осколков с высокой энергией, испусканием α -частиц, нейтронов, γ -излучения спонтанного деления, а также γ -, β -излучения образующихся осколочных элементов.

Табл. 6. Вклад различных видов излучения ^{252}Cf в суммарную энергию, выделяемую при распаде радионуклида.

Вид излучения	Среднее число частиц на одно превращение	Энергия одной частицы, МэВ	Энергия излучения, МэВ
α -излучение	0,97	6,11	5,930
Ядра отдачи	0,97	0,097	0,094
Осколки спонтанного деления	0,06	92,5	5,550
Нейтроны спонтанного деления	0,114	2,3	0,262
γ -излучение			
спонтанное деление	0,33	0,74	0,244
осколки деления	0,33	0,79	0,261
β -излучение осколков деления	0,21	1,44	0,302

При поступлении ^{252}Cf в организм человека или животных основную дозовую нагрузку в тканях создаёт α -излучение и высокоэнергетические осколки деления. В тех ситуациях, когда ^{252}Cf является источником внешнего облучения, поглощенная доза обусловлена нейтронами, γ -излучением спонтанного деления, а при небольших расстояниях от

источника (несколько сантиметров) и β -излучением.

Высокая проникающая способность гамма-нейтронного излучения ^{252}Cf — основной радиационный фактор при работе с закрытыми источниками радионуклида. При этом вклад нейтронной компоненты в суммарный биологический эффект является основным. Он обусловлен особенностями передачи энергии незаряженных частиц веществу. Однако, учитывая более быструю потерю энергии быстрыми нейтронами при прохождении через вещество по сравнению с гамма-квантами, вклад гамма-компоненты будет возрастать с увеличением размеров объекта и обуславливать конечный биологический эффект. Эффективность гамма-нейтронного излучения ^{252}Cf в отличие от чистого гамма-излучения мало зависит от мощности дозы. По подавлению репродуктивной способности опухолевых и нормальных клеток разных культур доза гамма-нейтронного излучения, приводящая к выживанию 37 % клеток в диапазоне мощности дозы 0,0015—2,8 Гр/ч, практически одинакова и составляет 1,0 Гр.

Относительная биологическая эффективность гамма-нейтронного излучения ^{252}Cf увеличивается с уменьшением суммарной поглощенной дозы, что объясняется слабой степенью восстановления повреждений тканей от нейтронного воздействия. Эффективность гамма-нейтронного излучения ^{252}Cf в меньшей степени, чем действие гамма-излучения, модифицируется гипоксией.

При поступлении ^{252}Cf в организм биологическое действие изотопа будет определяться в основном дозой α -излучения, создаваемой в органах длительного депонирования.

Острое лучевое поражение. Ведущими симптомами в картине острого лучевого поражения ^{252}Cf являются: нарушение гемодинамики с ранним повреждением сосудистой сети и развитием геморрагического синдрома, изменения костной ткани, печени, почек и связанных с ними систем и органов, инфекционные процессы, резкое сокращение продолжительности жизни. У крыс острое лучевое поражение ^{252}Cf развивается после поступления в организм радионуклида в количествах от 148 кБк/кг и выше. При этом тяжесть поражения, время проявления и выраженность патологических изменений пропорциональны поглощенной дозе в скелете. Первым клиническим симптомом острого лучевого поражения ^{252}Cf является развитие лейкопении. При средней мощности дозы в скелете крыс (0,9 Гр/сут) снижение лейкоцитов наблюдается с первых суток. Максимальное снижение общего числа лейкоцитов у крыс после инкорпорации остротоксических количеств ^{252}Cf отмечено на 7—28 сут. Начиная со второго месяца заболевания, наблюдается восстановление клеточного состава периферической крови, в первую очередь за счет нейтрофилов. Собаки в несколько раз чувствительнее к воздействию ^{252}Cf , чем крысы. Уменьшение нейтрофилов на 50% наблюдается при средней мощности дозы 0,07—0,15 Гр/сут у крыс и 0,01 Гр/сут у собак. Наиболее чувствительными клетками периферической крови у собак являются нейтрофилы, затем

лимфоциты и эритроциты. При усредненной дозе в скелете 0,45 Гр/сут и выше все крысы, получившие ^{252}Cf , погибают в острой фазе лучевого поражения.

Подострое и хроническое лучевое поражение. В подострой фазе лучевого поражения ^{252}Cf крысы погибают в основном от неспецифических инфекционных заболеваний (легочная, кишечная инфекция). По клиническим и морфологическим тестам этот период характеризуется как период относительной лабильной морфофункциональной нормализации, что обусловлено, с одной стороны, уменьшением мощности дозы на органы вследствие выведения радионуклида, а с другой — вкладом восстановительных и компенсаторных процессов. В это время осуществляется нормализация гематологических показателей. К концу первого месяца поражения ^{252}Cf и позже происходит относительная нормализация сосудистых повреждений. Однако параллельно в течение этого периода осуществляется становление аутоиммунных реакций радиационного генеза, дающих вторую волну сосудистой патологии, наслаивающейся на старые изменения.

Хроническое лучевое поражение ^{252}Cf развивается у части крыс, получивших радионуклид в количестве 148—592 кБк/кг, и у всех крыс, получивших 74—18,5 кБк/кг. Характерным для этого периода является сочетание гипо- и гиперпластических, склеротических, дистрофических, аутоиммунных, восстановительных, дисгормональных и неопластических процессов в критических и топографически связанных с ними органах и железах внутренней секреции. Хронически эффективные количества ^{252}Cf не изменяют уровень содержания клеток в костном мозге и показатели периферической крови по сравнению с нормой. В хронической фазе поражения ^{252}Cf патологические изменения в печени протекают по типу хронического токсического гепатита. При дозе менее 2 Гр в печени эти процессы отсутствуют. Почечная патология протекает как клубочково-канальцевая недостаточность. При дозах менее 0,4 Гр патология почек отсутствует. При поступлении ^{252}Cf через органы дыхания в легких крыс отмечены изменения в сосудистой сети и лимфатической системе, что приводит к развитию склероза, хронической пневмонии и формированию опухолей. Минимальная доза α -излучения, приводящая к развитию пневмосклероза у части крыс, — 0,9 Гр.

Отдаленные последствия. Сокращение продолжительности жизни не наблюдается у крыс-носительниц ^{252}Cf при кумулятивной дозе в скелете и легких соответственно менее 1,9 и 1,2 Гр. При меньших дозах ^{252}Cf продолжительность жизни животных может превышать продолжительность жизни контрольной популяции. Гипопластические процессы развиваются в кроветворной и лимфоидной тканях, половых и эндокринных органах крыс при введении ^{252}Cf в количествах 148 кБк/кг и более. Склерозы формируются в печени, почках, легких при накоплении в органах доз α -излучения ^{252}Cf от 0,4 Гр и более. Дисгормональные состояния, выявленные в широком диапазоне доз, не имеют четкой дозовой зависимости и свидетельствуют о нарушениях регуляторных механизмов.

В хронической фазе лучевого поражения у крыс, в организм которых поступил ^{252}Cf , развиваются опухоли скелета, кроветворной ткани, печени, а при поступлении радионуклида через органы дыхания — опухоли легких. Остеосаркомы развиваются у крыс в диапазоне кумулятивных поглощенных доз α -излучения ^{252}Cf от 0,1 до 35 Гр, опухоли легких — от 1,3 до 10,4 Гр. Лейкозы развиваются у крыс, в скелете которых аккумулируются поглощенные дозы от 0,05 до 50 Гр. Частота их увеличивается с ростом поглощенной дозы и достигает 14 %. Развитие опухолей печени наблюдается у крыс при дозах в органе от 0,7 до 11,4 Гр; частота их увеличивается с увеличением дозы.

Для ^{249}Cf , ^{250}Cf , ^{251}Cf , ^{252}Cf , ^{253}Cf и ^{254}Cf группа радиационной опасности А, МЗА = $3,7 \cdot 10^3$ Бк.

Табл. 7. Гигиенические нормативы калифорния (Категория А).

Радио-нуклид	Состояние радионуклида в соединении	Критический орган	ДС _A , Бк	ПДП, Бк/год	ДК _A , Бк/л
^{249}Cf	Р	Кость	$6,7 \cdot 10^2$	74	$2,9 \cdot 10^{-5}$
	НР	Легкие	$2,6 \cdot 10^2$	$4,4 \cdot 10^3$	—
^{250}Cf	Р	Кость	$6,7 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^2$	$8,9 \cdot 10^{-5}$
	НР	Легкие	$2,6 \cdot 10^2$	$4,4 \cdot 10^3$	—
^{251}Cf	Р	Кость	$7,0 \cdot 10^2$	77,7	$3,2 \cdot 10^{-5}$
	НР	Легкие	$2,6 \cdot 10^2$	$4,4 \cdot 10^3$	—
^{252}Cf	Р	Кость	$1,9 \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
	НР	Легкие	74	$1,5 \cdot 10^3$	—
^{253}Cf	Р	Кость	$5,6 \cdot 10^2$	$3,7 \cdot 10^4$	—
	НР	Легкие	$2,6 \cdot 10^2$	$3,7 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
^{254}Cf	Р	Кость	10,7	$2,4 \cdot 10^2$	—
	НР	Легкие	4,1	$2,2 \cdot 10^2$	$8,9 \cdot 10^{-5}$

Для количественного определения изотопов калифорния необходимо получение их в чистом виде, что требует отделения их от сопутствующих лантаноидов и актиноидов. Учитывая небольшие весовые количества изотопов калифорния, основными методами являются спектрометрические.

При работе с радиоактивными изотопами калифорния, необходимо соблюдать санитарные правила и нормы радиационной безопасности с применением специальных мер защиты в соответствии с классом работ.

Дезактивация пораженных участков кожи растворами пентамина и $\text{Na}_2\text{-ЭДТА}$, препаратом «Защита-7», пастой-ПБ. Рвотные средства (апоморфин 1% - 0,5 мл подкожно) или промывание желудка водой. Солевые слабительные, очистительные клизмы.