

Радиоактивный цезий*

И. Я. Василенко

доктор медицинских наук,

Государственный научный центр — Институт биофизики

О. И. Василенко[†]

доктор физико-математических наук,

физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

Цезий (Cs) — щелочной металл 1 группы Периодической системы Д. И. Менделеева относится к микроэлементам. В крайне незначительном количестве он содержится во всех внешних средах. Кларковое содержание нуклида в земной коре — $3,7 \cdot 10^{-4}$ %, почве — $5 \cdot 10^{-5}$ %, живой фитомассе — $6 \cdot 10^{-6}$ %. В организм человека входят практически все химические элементы, из них 47 считаются биогенными — жизненно необходимыми: O, C, H, Ca, P, K, S, Cl, Na, Mg, Zn, Fe, Mn, I, Co, Se. Они входят в состав тканей и химически активных соединений — гормонов, ферментов, витаминов, пигментов и считаются незаменимыми. В организме содержатся и все другие элементы, в том числе цезий. Физиологическое и биохимическое их значение остается недостаточно изученным. Очевидно, они также играют свою роль в сохранении гомеостаза организма. Человеку цезий поступает в основном с продуктами питания. Через органы дыхания поступает лишь 0,25 %. Среднее содержание цезия в организме взрослого человека составляет 0,0015 г, при суточном поступлении около 10 мкг.

*И. Я. Василенко, О. И. Василенко. “Радиоактивный цезий.” // Энергия: экономика, техника, экология. 2001, N 7, С. 16-22.

[†]E-mail address: vasilenko@depni.sinp.msu.ru

1 Источники поступления во внешнюю среду

Из 23 изотопов цезия 22 радиоактивных с массовыми числами $123 \div 132$ и $134 \div 144$. Радиоизотопы цезия образуются при делении ядер атомов тяжёлых элементов (при ядерных взрывах и в ядерных реакторах) и с помощью ускорителей заряженных частиц. Ядерно-физические характеристики основных радиоактивных изотопов цезия приведены в таблице 1. Ядерные взрывы и крупные радиационные аварии на радиационных предприятиях стали основным источником радиоактивного загрязнения природной среды планеты. Вклад СССР и США в радиоактивное загрязнение примерно одинаков по 40 %, остальные 20 % приходятся на Англию, Францию и Китай.

Радиоактивные выпадения радиоизотопов цезия на сушу при испытаниях ядерного оружия и выбросов ядерных предприятий явились наиболее значимым источником загрязнения внешней среды и радиационного воздействия на человека. Из радиоизотопов цезия наибольшее значение имеет ^{137}Cs , характеризующийся большим выходом в реакциях деления и сроками жизни ($T_{1/2} = 30,2$ года), высокой миграционной способностью и токсичностью. Он считается одним из наиболее значимых радионуклидов продуктов ядерного деления (ПЯД). Цезий-137 — бета-излучатель со средней энергией бета-частиц 170,8 кэВ. Его дочерний радионуклид ^{137m}Ba имеет период полураспада 2,55 мин и испускает при распаде гамма-кванты с энергией 661,6 кэВ. Выход ^{137}Cs при делении меняется в зависимости от делящегося вещества и энергии нейтронов, вызывающих деление (таблице 2).

Общее поступление нуклида в стратосферу за счет прошедших ядерных испытаний равно примерно 960 ПБк с плотностью выпадений в Северном, Южном полушариях и в среднем на земном шаре 3,42; 0,86 и $3,14 \cdot 10^3$ Бк/м² соответственно [3]. На территориях бывшего СССР средний уровень составляет $3,4 \cdot 10^3$ Бк/м² [4]. В отдельных регионах уровни загрязнения в силу их физико-географических и климатических условий выше приведенных значений. Уровни загрязнения постепенно снижаются вследствие физического распада радионуклидов. В выпавших ПЯД повышается относительное содержание долгоживущих радионуклидов, в том числе цезия-137 (таблице 3).

Источником загрязнения внешней среды ^{137}Cs , как было отмечено, являются радиационные предприятия. В ядерных реакторах в процессе их эксплуатации накапливаются продукты деления урана и плутония, в том числе радиоактивный цезий, и трансурановые элементы (ТУЭ)

в огромном количестве. На 1 МВт электрической мощности образуется 130 ТБк радиоцезия, а всего к концу столетия накопление нуклида в реакторах во всех странах мира достигнет около 900 ЭБк [5], что примерно в 1000 раз превышает количество радиоцезия, выпавшего на поверхность Земли (960 ПБк). Согласно прогнозу, в 2000 году реакторами всех стран мира в атмосферу может быть выброшено $1,1 \div 5,2$ ТБк ^{137}Cs [5].

Известно, что при эксплуатации АЭС в нормальном режиме выбросы радионуклидов, в том числе радиоактивного цезия, незначительны. На 1 ГВт электрической мощности выброс водо-водяных реакторов достигает 29,7 ГБк [3]. По данным дозиметрического контроля концентрация радионуклидов в районах расположения АЭС лишь незначительно превышает концентрацию нуклида в контрольных районах. Источником загрязнения являются также радиохимические заводы (РХЗ) по переработке отработавших твэлов и хранилища радиоактивных отходов (РАО).

Сложные ситуации могут возникнуть при радиационных авариях. Зарегистрированы сотни аварий. Однако лишь некоторые из них сопровождались поступлением во внешнюю среду значительных количеств радионуклидов. Так при аварии в Уиндскейле (1957 г) в результате ошибки при управлении реактором стало перегреваться топливо и возник пожар, который продолжался 3 суток. Во внешнюю среду поступило 12 ПБк радионуклидов, в том числе ^{131}I – 740 ТБк, ^{137}Cs – 44 ТБк, ^{106}Ru – 12 ТБк [3]. При аварии на АЭС Три Майл Айленд (1979 г) произошел выброс пара и продуктов деления из поврежденного реактора. В атмосферу поступило 370 ПБк РБГ, в основном ^{133}Xe , около 550 ТБк ^{131}I [3]. Авария на Чернобыльской АЭС (1986 г) явилась самой крупной за весь период развития ядерной энергетики. Из разрушенного ядерного реактора было выброшено огромное количество радионуклидов – 1,85 ЭБк (без РБГ). На долю радиоактивного цезия пришлось 270 ПБк. Распространение радионуклидов приняло практически глобальный характер. На территории бывшего СССР выпало около 40 % инжестированного радиоцезия, который после распада радиоактивного йода (через 2–3 месяца) стал критическим нуклидом. Особенностью Чернобыльской аварии является крайне неоднородный характер радиоактивного загрязнения, связанный с длительным выбросом радионуклидов (10 суток) и изменявшимися погодными условиями (выпадение осадков и изменениями направления ветра).

На Урале произошло 2 крупных аварии. Первую из них можно лишь условно назвать аварией. С 1949 г по 1956 г осуществлялся вынужденный сброс высокоактивных отходов радиохимическим заводом предприятия "Маяк" в реку Теча. Было сброшено 102 ПБк радионуклидов, в том числе 12,4 ПБк ^{137}Cs . Около четверти суммарной активности приходилось на ^{90}Sr и ^{137}Cs . Присутствовали также радиоизотопы ниобия, рутения,

редкоземельных элементов. В 1951 г в верховьях реки Теча уровни загрязнения воды местами превышали допустимые концентрации в $2 \div 3$ тысячи раз по ^{90}Sr и в 100 раз по ^{137}Cs и ^{89}Sr . Другая авария произошла в 1957 г в районе города Кыштым, когда в результате теплехимического взрыва хранилища высокоактивных отходов из хранившихся $74 \cdot 10^{16}$ Бк (20 МКи) произошел выброс радионуклидов общей активностью 74 ПБк (2 МКи), в том числе ^{137}Cs . Радиоактивному загрязнению подверглись значительные территории Челябинской, Свердловской и Тюменской областей. Загрязнённым оказался регион площадью около 15000 км² [6, 7]. Следует также отметить ветровой вынос радионуклидов из поймы озера Карачай (1967 г), который составил 37 ТБк. На долю ^{137}Cs пришлось 0,4 ТБк.

Таким образом радиоактивное загрязнение цезием-137 при испытаниях ядерного оружия носило глобальный характер. Радиоактивному загрязнению при аварии на ЧАЭС подверглись не только территории бывшего СССР, но и всего Северного полушария. При других радиационных авариях загрязнение носило в основном локальный характер. Суммарный запас ^{137}Cs на территории России оценивается в $5,66 \cdot 10^{16}$ Бк (1,53 млн Ки), из которых 58 % приходится на глобальное загрязнение, 38 % является следствием выпадений в результате аварии на ЧАЭС, 3,6 % — следствием аварии и инцидентов в районе ПО "Маяк" на Южном Урале, 0,4 % — следствием сбросов жидких радиоактивных отходов Красноярским ГХК в р. Енисей и прочие источники — менее 0,1 % [8].

2 Миграции во внешней среде

Миграция радионуклидов во внешней среде чрезвычайно сложный процесс. Подробное рассмотрение её выходит за рамки обзора. Мы остановимся в основном на процессах миграции радиоцезия по пищевым цепочкам, поскольку продукты питания являются основным источником поступления нуклида человеку. Этой сложной проблеме посвящены многие публикации [4, 5, 12]. Подвижность радионуклидов в биоценозе зависит от их физико-химических свойств, условий окружающей среды и биологических особенностей растений и животных. Носителями активности при ядерных взрывах являются аэрозоли, образующиеся в результате конденсации радиоактивных и нерадиоактивных продуктов взрыва. В процессах миграции и биологической доступности радионуклидов большую роль играет растворимость аэрозолей и степень выщелачивания радионуклидов из частиц, определяемая условиями их образования. Атмосфера является первичным резервуаром, откуда радионуклиды по-

ступают на земную поверхность. Примерно 1/3 всего количества продуктов деления, образовавшихся при испытаниях ядерного оружия, выпало на сушу, остальная часть в океан. Цезий, поступивший во внешнюю среду, интенсивно включается в процессы миграции, особенно в начальный период, чему способствуют два обстоятельства. Во-первых, предшественниками ^{137}Cs являются йод и ксенон: $^{137}\text{I}(24, 2 \text{ c}) \xrightarrow{\beta^-} ^{137}\text{Xe}(3,9 \text{ мин}) \xrightarrow{\beta^-} ^{137}\text{Cs}$, которые присутствуют в газовой фазе. Образовавшиеся микроаэрозоли абсорбируются более крупными частицами, образующимися при ядерных взрывах и медленно выпадающими на поверхность Земли. Процесс выпадения ускоряют атмосферные осадки и агрегация частиц с образованием более крупных. Период полураспада стратосферы равен примерно 1 году. Во-вторых, при всех (кроме наземных на силикатных почво-грунтах и подземных) ядерных взрывах и аварийных выбросах ядерных предприятий выпавшие радионуклиды характеризуются хорошей растворимостью, что имеет принципиальное значение в процессах их миграции. При наземных взрывах на силикатных почво-грунтах и подземных взрывах радиоактивные частицы характеризуются слабой растворимостью. Содержание ^{137}Cs в атмосферных осадках в растворимой форме колеблется в широких пределах. Оно составляет 9,3 ÷ 83,4 %, в среднем 49 % [13], что связано с условиями формирования радиоактивных частиц.

Радиоактивный цезий, выпавший на поверхность Земли, перемещается под влиянием природных факторов в горизонтальном и вертикальном направлениях. Горизонтальная миграция обусловлена ветровой эрозией почв и атмосферными осадками, а вертикальная — фильтрационными токами воды, почвенной деятельностью животных и микроорганизмов, выносом из корнеобитаемого слоя растениями, сельскохозяйственной деятельностью человека и др. Нуклид в первые годы после выпадения находится в верхнем 5 ÷ 10 сантиметровом слое. Удержанию нуклида способствуют мелкодисперсные фракции почвы и органические вещества, повышающие сорбционные свойства почвы.

Начальным звеном большинства пищевых цепочек являются растения. Радионуклиды могут попасть на растения (листья, стебли, плоды) непосредственно в момент радиоактивных выпадений, через корневую систему из почвы и с загрязнённой водой при использовании ее для орошения. Уровни поверхностного загрязнения растений определяются их морфологическими особенностями и физико-химическими особенностями выпадающих аэрозолей. По степени задержки растения можно расположить в ряд: капуста > свекла > картофель > пшеница > естественная травянистая растительность. Растения способны задерживать аэрозоли

размером менее 45 мкм. Коэффициент задержки аэрозолей разнотравьем колеблется от 0,10 до 0,36. Всасывание с поверхности растений растворимого цезия достигает 10 %. Усвоение из загрязнённой почвы зависит от особенностей растений и вида почвы. Концентрация нуклида в генеративных и вегетативных органах растений примерно одинакова. Наиболее высокие показатели перехода цезия из почвы в растения отмечены на торфянисто-болотных почвах Украинско-Белорусского полесья. Коэффициент перехода для зерна, картофеля, огурцов, помидоров достигает $4,8 \cdot 10^{-9}$; $1 \div 2 \cdot 10^{-11}$; $6 \cdot 10^{-12}$; $1 \div 4 \cdot 10^{-11}$ (Бк/кг)/(Бк/км²) соответственно [14]. Переход цезия в многолетние травы на пахотных землях ниже, чем на естественных угодьях.

Основным источником поступления радиоцезия человеку являются продукты питания животного и растительного происхождения. Радиоактивный цезий, поступающий животным с загрязненным кормом, в основном накапливается в мышечной ткани (до 80 %) и в скелете (10 %). Остальное количество нуклида относительно равномерно распределяется по другим органам. При длительном поступлении нуклида равновесная концентрация у коров наступала к концу месяца, у коз за 10 дней. Кратность накопления (содержание нуклида в организме по отношению к суточному поступлению) у коров и свиней равна $10 \div 20$. Содержание цезия в период равновесного состояния в 1 кг мышц у коров, овец, коз, свиней и кур составляет 4, 8, 20, 26 и 450 % от суточного поступления соответственно [15]. Кратность накопления и содержание нуклида в органах при прочих равных условиях зависит от возраста животных.

Цезий в значительных количествах выводится с молоком лактирующих животных. Максимальная концентрация нуклида в молоке коров равная $0,2 \div 0,3$ % в 1 литре от поступившего количества зарегистрирована через 24–48 часов. При длительном поступлении цезия коровам содержание нуклида достигало $0,8 \div 1,2$ % в 1 литре молока от ежедневного поступления, у овец $5 \div 15$ %, коз $10 \div 29$ % [9]. У кур в период равновесного состояния, наступавшего на 6–7 сутки, содержание цезия в яйце достигало $2,3 \div 3,3$ % от суточного поступления [16]. В белке содержалось в $2 \div 3$ раза больше цезия, нежели в желтке. Гидробионты накапливают цезий в большом количестве. Коэффициент накопления нуклида в мышцах рыб достигает 1000 и более, у моллюсков — $100 \div 700$, ракообразных — $50 \div 1200$, водных растений — $100 \div 10000$ [17].

Поступление цезия человеку зависит от характера питания. Так после аварии на ЧАЭС в 1980–1985 гг вклад различных продуктов в среднесуточное поступление радиоцезия в наиболее загрязненных областях Беларуси был следующим: молоко — 17 %, мясо — 6 %, рыба — 1,5 %, картофель — 40,5 %, овощи — 9 %, фрукты и ягоды — 4 %, грибы — 13 %,

хлеб — $3 \div 6$ %, а в 1990 г: молоко — 19 %, мясо — 9 %, рыба — 0,5 %, картофель — 46 %, овощи — 7,5 %, фрукты и ягоды — 5 %, хлеб и хлебопродукты — 13 % [18]. Регистрируют повышенное содержание радиоцезия у жителей, потребляющих в больших количествах "дары природы" (грибы, лесные ягоды и особенно дичь). Численность таких жителей достигает $5 \div 15$ %. Дозы облучения у них в $5 \div 10$ раз превышают среднюю дозу основной группы населения [19].

3 Процессы метаболизма

Радиоактивный цезий, поступая во внешнюю среду, как основной дозообразующий радионуклид ПЯД, становится источником хронического внешнего и внутреннего облучения населения. В организм человека нуклид может поступать в основном через органы дыхания в период радиоактивных выпадений и перорально с загрязненными продуктами питания и водой. Радиоцезий в тех или иных количествах присутствует у всех жителей планеты. Всасывание, накопление в органах и тканях, выведение нуклида из организма определяется его физико-химическими характеристиками. Независимо от пути поступления всасывание растворимых форм нуклида достигает практически 100 %. Процессы всасывания протекают интенсивно. В крови радиоцезий регистрировали уже с первых минут его поступления в организм. Через неповрежденную кожу нуклид практически не всасывается (0,007 %). Через травмированные и ожоговые поверхности, раны всасывание, в зависимости от характера травмы, может быть значительным. Однако, этот путь поступления не имеет практического значения.

В обмене радиоактивного цезия много общего с обменом калия. Всосавшийся нуклид, как уже было отмечено, в основном накапливается в мышечной ткани (80 %), скелете (10 %), остальные 10 % относительно равномерно распределяются в других органах и тканях. Выводится цезий из организма в основном через почки и кишечник. Около 90 % цезия, поступившего человеку с пищей, выводится с мочой. Процессы выведения нуклида через кишечник сопровождаются повторным всасыванием значительных количеств нуклида в нижних его отделах. Около 10 % поглощенного радионуклида выводится из организма быстро — период биологического выведения (T_6) равен около 1 суток. Остальная часть выводится медленно. T_6 колеблется от 50 до 200 суток. У беременных женщин радиоцезий проникает через плаценту в плод. Чем старше эмбрион, тем в больших количествах нуклид накапливается в его органах и тканях. В плоде средняя концентрация нуклида в среднем в 5 раз ниже

концентрации в теле матери. Различия связаны с барьерной функцией плаценты и большой скоростью обмена цезия к плоду. Ребенку цезий может поступать с грудным молоком матери.

Следует отметить, что процессы обмена радиоактивного цезия зависят от многих факторов: физиологического состояния организма, возраста, характера питания, питьевого режима, обеспеченности организма калием, др. Так у пяти человек, которым случайно поступил нуклид в организм, биологический период выведения существенно различался и составлял 124, 61, 54, 36 и 36 суток. МКРЗ рекомендует биологический период выведения у взрослого человека считать равным 70 суткам. Выведение стабильного цезия с мочой для условного человека принимается равным 9 мкг/сут, с калом менее 1 мкг/сут [20].

4 Токсичность

Радиоактивный цезий, поступивший во внешнюю среду, стал источником хронического внешнего и внутреннего облучения всех растительных и животных организмов, включая человека. Дозы облучения биоты (растений и животных) обычно выше доз облучения человека при равных плотностях загрязнения, что связано процессами задержки радионуклидов растениями и поступления их животным.

Радиоактивный цезий был основным дозообразующим нуклидом облучения населения при испытаниях ядерного оружия и радиационных авариях. Ожидаемая эффективная доза облучения населения земного шара в результате ядерных испытаний в атмосфере равна 540 мкЗв, а коллективная — $220 \cdot 10^4$ чел.Зв. Вклад внешнего излучения, ингаляционного и перорального поступления равен соответственно 150; 0,1; 6, $9 \cdot 10^5$ чел.Зв [3]. Дозы облучения населения в зонах местных выпадений были существенно выше. В ряде случаев наблюдали острое лучевое поражение. Свой вклад в облучение вносят выбросы предприятий ядерной энергетики. В условиях нормальной эксплуатации выбросы радионуклидов, как известно, незначительны. Иные ситуации складываются при авариях (аварии на Урале, ЧАЭС, Уиндскейле и др.).

Радиоцезий, поступающая в организм, относительно равномерно распределяется, что приводит к практически равномерному облучению органов и тканей. Этому способствует высокая проникающая способность гамма-квантов его дочернего нуклида ^{137m}Ba ($E_\gamma = 0,662$ МэВ), равная примерно 12 см. При равномерном распределении нуклида в теле взрослого человека с удельной активностью 1 Бк/(кг массы тела) поглощённая доза по данным разных авторов колеблется от 2,14 до 3,16 мкГр/год, в

среднем 24 мкГр [4]. Биологическая эффективность ^{137}Cs поэтому при внешнем и внутреннем облучении в сопоставимых дозах практически одинакова.

Радиоактивный цезий характеризуется достаточно высокой токсичностью, мало зависящей от пути поступления нуклида в организм. Биологическое действие радиоцезия достаточно полно исследовано на разных видах животных. У крыс острые ($\text{СД}_{50/30}$), подострые и хронические поражения регистрировали при введении нуклида в количестве $8 \cdot 10^5$; $6,5 \cdot 10^5$; и $3,7 \cdot 10^5$ Бк/(г массы тела). При остроэффективных дозах животные погибали через 2–3 недели, когда в организме формировались дозы, равные примерно 30 Гр. В течении болезни имелось много общего с острой лучевой болезнью при внешнем γ -облучении. Болезнь характеризовалась угнетением, слабостью, снижением массы тела, поносом, кровоизлияниями в подкожную клетчатку и внутренние органы. Изменения показателей крови были типичными для острой лучевой болезни при внешнем γ -облучении. В количестве $7,8 \div 12,6 \cdot 10^4$ Бк ^{137}Cs не оказывает влияния на продолжительность жизни крыс. У животных, однако, длительное время сохранялась лейкопения, а в отдаленные сроки регистрировали доброкачественные и злокачественные опухоли.

Для собак необходимы в $5 \div 6$ раз меньшие количества нуклида [21, 22]. У человека можно ожидать развитие лучевых поражений при поступлении радиоцезия в $2 \div 3$ раза меньших количествах по сравнению с собаками. Различия связаны с видовой радиочувствительностью и интенсивностью процессов обмена. Радиационные поражения легкой, средней и тяжёлой степени у взрослого человека можно ожидать при поступлении 148, 370 и 740 МБк/организм. Поглощённые дозы могут составить 2,5 и более грей. Лучевая реакция может развиваться при поступлении сотен мкКи [23].

Фракционирование дозы нуклида снижает его биологическую эффективность в результате восстановительных процессов и защитно-компенсаторных механизмов, осуществляемых на всех уровнях интеграции организма. Особый практический интерес представляет хроническое поступление нуклида в малых дозах. Так у крыс при ежемесячном поступлении радиоцезия в количестве $3,7 \cdot 10^3$ и $3,7 \cdot 10^3$ Бк, когда к концу года формировались дозы порядка 0,37 и 3,7 Гр, состояние животных в острый период оставалось без существенных изменений. Отмеченные изменения иммунитета носили кратковременный преходящий характер. При меньших количествах ($37 \div 370$ Бк) нарушения практически отсутствовали [24].

Практический интерес представляют клинические наблюдения. Радиоактивный цезий нашел широкое применение в народном хозяйстве,

медицине и науке. Промышленное получение нуклида осуществляется выделением его из ПЯД методом экстракции, соосаждения и адсорбции. Небрежное хранение нуклида и нарушение техники безопасности приводило не только к внешнему облучению людей, но и к поступлению нуклида в организм людей. Так пострадавший выпил по ошибке раствор цезия с активностью $14,8 \cdot 10^7$ Бк. Доза облучения до полного выведения нуклида оценена в 2,4 Гр. Течение болезни характеризовалось умеренными функциональными нарушениями сердечно-сосудистой и нервной систем, печени и умеренными изменениями показателей крови. Количество лейкоцитов снижалось до $5,2 \cdot 10^9$ /л. Для ускорения выведения радиоцезия дважды проведен курс с введением ЭДГУ. Вводили меркамин, глюкозу с аскорбиновой кислотой, диета содержала повышенного количества калия. Комплексная терапия способствовала ускорению выведения нуклида из организма и смягчения течения болезни. На течении болезни сказалась длительная алкогольная интоксикация [25]. Описаны случаи поступления радиоактивного цезия человеку и другими авторами. Особый интерес представляет случай массового облучения населения в г. Гаояна (Бразилия) в результате небрежного хранения медицинского источника с активностью $5,2 \cdot 10^{13}$ Бк. Острые радиационные поражения в результате внешнего и внутреннего облучения получили 17 человек, из них тяжёлой, средней и легкой степени — соответственно 5, 3 и 9 человек, 4 человека умерло. В зависимости от тяжести поражения пострадавшим могло поступить $11 \div 1110$ МБк цезия. Вклад внутреннего облучения не превышал $15 \div 30$ %, за исключением одного случая, где он мог составить 50 %. Все пострадавшие получили интенсивное лечение, что очевидно снизило летальность [26].

5 Профилактика. Экстренная помощь

Профилактика, оказание экстренной помощи и лечение поражений радиоактивным цезием проводятся в соответствии со специально разработанными документами. Общие принципы защиты изложены в рекомендациях МКРЗ и НКРЗ Российской Федерации. В производственных условиях работа с источниками ионизирующих излучений регламентируется санитарными правилами и нормами радиационной безопасности с применением специальных мер защиты в соответствии с классом работ. Величины предела годового поступления с воздухом и допустимой объёмной активности в воздухе ^{134}Cs и ^{137}Cs для отдельных лиц из персонала приведены в таблице 4, а величины предельного годового поступления с воздухом и пищей, допустимой объёмной активности во вдыхаемом

воздухе и воде для населения в таблице 5.

В случае поступления значительных количеств цезия в организм человека диагностику проводят по измерению γ -излучения от тела и по β , γ -излучению от выделений (моча, кал). Для этих целей используют бета-гамма-радиометры и спектрометры излучений человека (СИЧ). Неотложная медицинская помощь включает дезактивацию тела водой с мылом или специальными пастами ("Защита-7", "Радгез-Д", паста-11), промывание глаз, полости рта, носоглотки водой или физиологическим раствором. Проводят обильное промывание желудка, назначают рвотные средства (1 % раствор апоморфина 0,5 мл под кожу), солевые слабительные (магний и натрий сульфат — 30,0:200,0). Высокоэффективным средством является специальный сорбент цезия — феррацин (1,0:100,0), связывающий цезий и препятствующий его всасыванию в кишечнике. Последовательность проведения защитных мероприятий определяется радиационной обстановкой. Замедление их в начальный период может привести к переоблучению и депонированию всосавшегося цезия. Недопустимо откладывать приведение экстренных мер до получения полных дозиметрических данных. Получение их позволяет уточнить и расширить объём помощи.

Применение феррацина показано для ускорения выведения из организма инкорпорированного цезия. Взрослым и подросткам старше 14 лет назначают по 1 г 3 раза в день, детям до 2 лет по 0,1 г и старше по 0,5 г. Препарат рекомендуется применять в течение 2–4 недель.

В регионах радиоактивного загрязнения население подвергается хроническому комбинированному облучению — сочетанному внешнему и внутреннему. Радиоактивный цезий является основным дозообразующим нуклидом. С целью снижения доз облучения проводят комплексные меры защиты. Агротелиоративные и зооветеринарные меры защиты позволяют существенно снизить содержание радионуклидов в растениеводческой и животноводческой продукции. Весьма эффективным средством для получения "чистой" мясо-молочной продукции является применение феррацина — введение его с комбикормом и скармливание животным 1 раз в сутки. Для коров, бычков и овец оптимальными дозами являются 5, 3 и 2 г в сутки. Применение феррацина в колхозах и совхозах при аварии на ЧАЭС позволило получать "чистую" мясо-молочную продукцию [28]. Феррацин связывает поступающий с загрязненным кормом цезий в нерезорбируемую форму и цезий проходит транзитом через кишечник и выводится из организма с калом. Технологической переработкой сырья и кулинарной обработкой пищевых продуктов можно существенно снизить содержание цезия в пище. Переработка пшеницы и ржи в высшие сорта муки снижает содержание цезия в 1, 8 ÷ 2, 4 раза. Из мяса в бульон

переходит до 70 % цезия. Однократное отваривание грибов снижает содержание цезия на 80 %, а двукратное — на 95 %, вымачивание — на 80 ÷ 90 %.

Среди многочисленных факторов в профилактике последствий облучения (здоровый образ жизни, спорт, оздоровление и др.) важнейшим является рациональное питание, полностью удовлетворяющее физиологические потребности организма в пищевых веществах, витаминах и микроэлементах. Рациональное питание способствует нормализации возможных неблагоприятных биохимических изменений в организме, повышает резистентность организма, уровень иммунологической защиты, репаративных процессов и возможность проявления бластомогенных и генетических эффектов. Полезным является включение в рацион биологически активных добавок (БАД). Выбор их следует согласовывать с лечащим врачом.

Заключение

Радиоактивный цезий является одним из основных дозообразующих радионуклидов продуктов деления урана и плутония. Нуклид характеризуется высокой миграционной способностью во внешней среде, включая пищевые цепочки. В организм человека он может поступать в основном с продуктами питания. Поступивший в организм нуклид интенсивно всасывается и относительно равномерно распределяется в организме, вследствие чего облучение органов и тканей носит практически равномерный характер. Цезий характеризуется относительно высокой токсичностью. В клиническом течении болезни много общего с лучевой болезнью при внешнем γ -облучении.

Основным источником загрязнения внешней среды радиоактивным цезием были испытания ядерного оружия и выбросы предприятий ядерной энергетики. Дозы облучения населения можно отнести к категории "малых". Сложные ситуации возникают при крупных радиационных авариях и инцидентах, когда дозы облучения в отдельных случаях достигают поражающих. Вклад радиоактивного цезия в таких ситуациях был существенным.

Источники радиоактивного цезия широко используются в народном хозяйстве, медицине, науке. В результате небрежного хранения источников, нарушения техники безопасности имели место радиационные поражения. Необходим централизованный строгий учет всех источников цезия с момента изготовления до их уничтожения в установленном порядке.

Список литературы

- [1] Схема распадов радионуклидов. Энергия и интенсивность излучений. Публикация МКРЗ 38. Часть 1, книга 2. М., Энергоатомиздат, 1987, 400 с.
- [2] Гречушкина М.П. Таблицы состава продуктов мгновенного деления (^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu). М., Атомиздат, 1964.
- [3] Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты. НКДАР при ООН. Доклад за 1982 г. Генеральной Ассамблее ООН. Нью-Йорк, 1982, 882 с.
- [4] Моисеев А.А. Цезий-137: окружающая среда; человек. М., Энергоатомиздат, 1985, 189 с.
- [5] International Fuel Cycle Evaluation: INFEO Waste Management and Disposal (Report on Working Group 7, IAEA). Vienna, 1980.
- [6] Никипелов Б.В., Дрошко Е.Г. Взрыв на Южном Урале. // Природа, 1990, № 5, С. 48–49.
- [7] Антропова З.Г., Абрамова Т.Н., Дибобес И.К. и др. Итоги изучения и опыт ликвидации последствий загрязнения территории продуктами деления урана. М., Энергоатомиздат, 1990, 144 с.
- [8] Израэль Н.А., Имшенник Е.В., Квасникова Е.В. и др. Радиоактивное загрязнение территории России глобальными выпадениями от ядерных взрывов и чернобыльскими выпадениями. Карта по состоянию на 90-ые годы XX века. Тезисы докладов на Международной конференции "Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях". 24–26 апреля 2000 г. Москва. Санкт-Петербург, Гидрометеоздат, 2000, С. 62.
- [9] Радиоактивность и пища человека. Под. ред. Р.Рассела. Пер. с англ. М., 1971, С. 232–256.
- [10] Василенко И.Я. Радиационно-гигиеническая оценка продуктов ядерного деления. Журнал гигиены, эпидемиологии, микробиологии и иммунологии. 1983, Т. 27, № 1, С. 112–120.
- [11] Василенко И.Я. Цезий в продуктах питания. Вопросы питания. 1988, № 4, С. 4–11.

- [12] Василенко И.Я. Токсикология продуктов ядерного деления. М., Медицина, 1999, 200 с.
- [13] Павлоцкая Ф.И. Состояние и формы нахождения радиоизотопов в глобальных выпадениях. М., Атомиздат, 1973.
- [14] Книжников В.А., Бархударов Р.М., Брук Г.Я. и др. Медицинские аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. Материалы научной конференции. Киев (11–13 мая 1988 г.). Киев, Здоровье, 1988, С. 66–76.
- [15] Корнеев Н.А., Сироткин А.Н. Основы радиоэкологии сельскохозяйственных животных. М., Энергоатомиздат, 1987, 208 с.
- [16] Ekman L. Acta vet. scand. 1961, Vol. 2 Suppl., N 4, 1961, P. 1.
- [17] Поликарпов Г.Г. Радиоактивная загрязненность морей и океанов. М., 1964, С. 67.
- [18] Ермалицкий А.П. Загрязнение продуктов питания ^{137}Cs и ^{90}Sr , как фактор внутреннего облучения населения до и после аварии на Чернобыльской АЭС (1980–1990). Тезисы докладов на Международной конференции "Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях". 24–26 апреля 2000 г. Москва. Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 2000, С. 336.
- [19] Скрябин А.М. Об идентификации критической группы в условиях чернобыльской аварии. Тезисы докладов на Международной конференции "Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях". 24–26 апреля 2000 г. Москва. Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 2000, С. 318.
- [20] Человек. Медико-биологические данные. МКРЗ. Публ. № 23. М., Медицина, 1977, 496 с.
- [21] Булдаков Л.А., Москалев Ю.И. Проблема распределения и экспериментальной оценки допустимых уровней ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{106}Ru . М., Атомиздат, 1968.
- [22] Королев Г.К. Материалы по токсикологии ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{144}Ce , ^{137}I . Автореферат докторской диссертации. Обнинск, АМН СССР, 1970.
- [23] Василенко И.Я. Канцерогенная опасность цезия-137. Вопросы онкологии. 1991, Т. 37, № 4, С. 394–400.

- [24] Шубик В.М. Иммунологические исследования в радиационной гигиене. М., Энергоатомиздат, 1987, 143 с.
- [25] Фатеева М.Н., Климов В.С., Поздиковская А.И. и др. Влияние цезия-137 на организм человека. Медицинская радиология. 1969, № 7, С. 14-19.
- [26] Селедовкин Г.Д. Первый этап оказания медицинской помощи при радиационных авариях. Доклад на 8-м Международном конгрессе по срочной хирургии. Милан, 1987.
- [27] Нормы радиационной безопасности НРБ-99. СП 2. 6. 1 758-99. Минздрав России, 1999, 116 с.
- [28] Булдаков Л.А., Борисов В.П., Василенко И.Я. и др. Применение ферроцианидов для получения чистой мясной продукции на загрязненных территориях после аварии на Чернобыльской АЭС. Вопросы питания. 1992, № 5-6, С. 62-65.

Таблица 1

**Ядерно-физические свойства
основных радиоактивных изотопов цезия [1]**

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	
^{125}Cs	45 мин	$3\beta^+$	$6,77 \cdot 10^{-1}$	$3,45 \cdot 10^{-1}$	^{125}Xe радиоакт.
^{126}Cs	1,64 мин.	$3\beta^+$	1,08	1,46	^{126}Xe стаб.
^{127}Cs	6,25 ч.	$3\beta^+$	$4,14 \cdot 10^{-1}$	$2,91 \cdot 10^{-2}$	^{127}Xe радиоакт.
^{128}Cs	3,9 мин.	$3\beta^+$	$8,95 \cdot 10^{-1}$	$8,43 \cdot 10^{-1}$	^{128}Xe стаб.
^{129}Cs	32,06 ч.	$3\beta^+$	$2,80 \cdot 10^{-1}$	$1,77 \cdot 10^{-2}$	^{129}Xe стаб.
^{130}Cs	29,9 мин.	$3\beta^+$	$5,14 \cdot 10^{-1}$	$4,01 \cdot 10^{-1}$	^{130}Xe стаб.
^{131}Cs	9,69 сут.	3β	$2,28 \cdot 10^{-2}$	$6,60 \cdot 10^{-3}$	^{131}Xe стаб.
^{132}Cs	6,475 сут.	$3\beta^+$, β^-	$7,02 \cdot 10^{-1}$	$1,42 \cdot 10^{-2}$	^{132}Xe стаб. (0,98); ^{132}Ba , стаб. (0,02)
^{134m}Cs	2,9 ч.	ИП	$2,67 \cdot 10^{-2}$	$1,11 \cdot 10^{-1}$	^{134}Cs радиоакт.
^{134}Cs	2,062 года	$3\beta^+$; β^-	1,55	$1,63 \cdot 10^{-1}$	^{134}Xe стаб. ($3 \cdot 10^{-6}$); ^{134}Ba , стаб.
^{135m}Cs	53 мин.	ИП	1,58	$3,64 \cdot 10^{-2}$	^{135}Cs радиоакт.
^{135}Cs	$2,3 \cdot 10^6$ лет	β^-	—	$6,73 \cdot 10^{-2}$	^{135}Ba стаб.
^{136}Cs	13,1 сут.	β^-	2,15	$1,37 \cdot 10^{-1}$	^{136}Ba , стаб.
^{137}Cs	30 лет	β^-	—	$1,87 \cdot 10^{-1}$	^{137m}Ba радиоакт. (0,946); ^{137}Ba стаб.(0,054)
^{138}Cs	32,2 мин.	β^-	2,31	1,20	^{138}Ba стаб.

Таблица 2

Выход (%) цезия-137 при делении ядер тяжёлых элементов [2]

Нейтроны деления				Нейтроны 14 МэВ		Тепловые нейтроны
^{235}U	^{238}U	^{232}Th	^{239}Pu	^{235}U	^{238}U	^{235}U
6,3	6,2	6,3	6,8	5,1	5,7	6,1

Таблица 3

Содержание ^{137}Cs в ПЯД в зависимости от их возраста [2]

Возраст ПЯД										
1 час	5 час	1 сут.	2 сут.	5 сут.	10 сут.	30 сут.	5 мес.	1 год	5 года	10 лет
Содержание ^{137}Cs										
$4,1 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	0,002	0,004	0,01	0,02	0,07	0,44	1,98	18,24	31,58

Таблица 4

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

Радионуклид	Период распада, $T_{1/2}$	Тип соединения при ингаляции*	Дозовый коэффициент $\epsilon_{\text{нас}}^{\text{возд}}$, Зв/Бк	Предел годового поступления ПГП _{перс} , Бк/год	Допустимая среднегодовая активность ДОО _{перс} , Бк/м ³
^{134}Cs	2,06 года	Б	$6,8 \cdot 10^{-9}$	$2,9 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^3$
^{137}Cs	30,0 лет	Б	$4,8 \cdot 10^{-9}$	$4,2 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^3$

* Примечание:

К типу "Б" относятся все соединения цезия.

Таблица 5

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 цезия [НРБ-99]

Радионуклид	Период полураспада, $T_{1/2}$	Поступление с воздухом			Поступление с водой и пищей				
		Критическая группа*	Дозовый коэффициент,	Предел годового поступления, ления,	Допустимая средняя годовая объёмная активность, ДООА _{нас} , Бк/м ³	Критическая группа*	Дозовый коэффициент	Предел годового поступления, ления,	Уровень вмешательства
¹³⁴ Cs	2,06 лет	КГ	$\epsilon_{нас}^{возд}$, Зв/Бк	ПГП _{нас} ^{возд} , Бк/год	ДООА _{нас} , Бк/м ³	КГ	$\epsilon_{нас}^{возд}$, Зв/Бк	ПГП _{нас} ^{возд} , Бк/год	УВ _{вода} , Бк/кг
		6	$6,6 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^1$	6	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$5,3 \cdot 10^4$	7,3
¹³⁷ Cs	30,0 лет	6	$4,6 \cdot 10^{-9}$	$2,2 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^1$	6	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$7,7 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^1$

* 6 — взрослые (старше 17 лет)