

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭНТЕРОСОРБЕНТОВ ДЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ РАБОТНИКОВ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА И НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАЙОНАХ

The article dwells upon the problem of application of enterosorbents for radiation protection of people living in contaminated regions.

**Введение.** В результате катастрофы на Чернобыльской АЭС крупномасштабному радиоактивному загрязнению подверглась более четверть лесного фонда Республики Беларусь, а это около 1,73 млн. га с запасом древесины более 210 млн. м<sup>3</sup>. Поэтому значительная часть древесного сырья на предприятия деревообрабатывающей промышленности может поступать из зон с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения.

В настоящее время основной вклад в радиоактивное загрязнение древесины и даров леса вносит цезий-137.

Спустя более 20 лет после Чернобыльской катастрофы 80–90% дозовой нагрузки население загрязненных регионов Беларуси получает при потреблении местных продуктов питания, содержащих радионуклиды цезия-137 и стронция-90 выше допустимых уровней.

До настоящего времени не существует эффективных контрмер, которые могли бы снизить загрязнение древесины и лесных продуктов питания. По мнению специалистов, оценка роли лесных экосистем в формировании доз облучения работников лесопромышленного комплекса и населения, радиозоологической обстановки, социальных и экономических аспектов – одна из наиболее сложных и малоизученных проблем.

В процессе выполнения на кафедре безопасности жизнедеятельности НИР ГБ 37-01 с целью улучшения санитарно-бытовых условий и снижения доз внутреннего облучения работников исследовалось древесное сырье и готовая продукция цеха древесноволокнистых плит ОАО «Борисовдрев».

Территория лесов, загрязненных радионуклидами, в Беларуси составляет 37%. В дарах леса, после Чернобыльской аварии, накопление радионуклида цезия-137 оказалось в 20–50 раз выше, чем в основных продуктах сельхозпроизводства. Продукты леса – это наиболее опасная категория продуктов питания. Это объясняется тем, что лесная подстилка является своеобразным экраном для выпавших радионуклидов. Основное количество радионуклидов располагается в верхнем слое подстилки толщиной 3–5 см.

Степень биологического действия различных видов излучения зависит от проникающей и ионизирующей способности. Энергия излу-

чения имеет прямую связь с поражающим действием радионуклида: чем она больше, тем сильнее поражение.

Особенно опасны для человека радионуклиды с периодом полураспада от нескольких дней до нескольких десятков лет, так как при коротком периоде полураспада (секунды – минуты – часы) основная масса радионуклидов распадается, не достигнув тканей организма; при большом периоде распада (десятки тысяч лет) радионуклиды не могут создать эффективной дозы, которая привела бы к негативным последствиям.

**1. Методика оценки внутреннего облучения организма человека.** Внутреннее облучение организма человека зависит от распределения радионуклидов в критических органах и тканях, при этом преимущественно поражаются те органы и ткани, в которых накапливается радионуклид. Доза внутреннего облучения, создаваемая радионуклидом, зависит от характера излучения (альфа-, бета- или гамма-излучение), энергии излучения и эффективного периода полувыведения из организма ( $T_{эф}$ )

$$T_{эф} = \frac{T_{1/2} \cdot T_6}{T_{1/2} + T_6}, \quad (1)$$

где  $T_{1/2}$  – период полураспада радионуклида;  $T_6$  – период биологического полувыведения радионуклида из организма (рисунок).

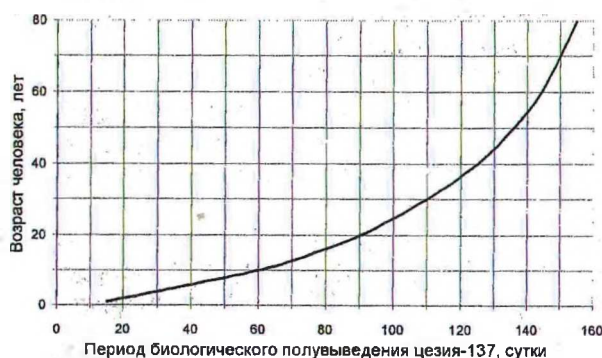


Рисунок. Зависимость периода биологического полувыведения цезия-137 из организма человека от возраста

Организм человека, даже при однократном поступлении радионуклида, будет подвержен длительному действию радиации (внутреннему облучению). При ежедневном употреблении населением загрязненных продуктов питания

происходит накопление радионуклида в организме и его хроническое облучение.

Поглощенная доза излучения ( $D$ , Гр), создаваемая в органе или ткани за время после однократного поступления радионуклидов, равна

$$D = 2 \cdot E_{\text{эф}} \cdot A_m \cdot T_{\text{эф}} \left( 1 - e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T_{\text{эф}}}} \right), \quad (2)$$

где  $E_{\text{эф}}$  – эффективная энергия излучения, МэВ;  $A_m$  – удельная активность радионуклида, Бк/г;  $t$  – время, сутки.

Главным критерием снижения дозы внутреннего облучения является уменьшение поступления радионуклидов из почвы в пищевые цепочки и получение продукции с содержанием радионуклидов в пределах допустимых уровней.

Пищевые продукты, произведенные в сельскохозяйственных и естественных экосистемах, вносят различный вклад в дозу внутреннего облучения населения. Переход радиоактивного цезия в пищевые цепочки, в сельскохозяйственных экосистемах обычно ниже, чем в естественных. Некоторые продукты, такие как определенные виды грибов и дичи, содержат относительно высокие количества радиоактивного цезия по сравнению с сельскохозяйственными продуктами.

Для расчета поступления цезия-137 в организм человека с лесными продуктами питания можно использовать следующую формулу:

$$V = A \cdot K_n \cdot Q \cdot K_{\text{ко}}, \quad (3)$$

где  $V$  – суточное поступление цезия-137 в пищу с лесными продуктами, Бк/день;  $A$  – плотность загрязнения почвы цезием-137, кБк/м<sup>2</sup>;  $K_n$  – коэффициент перехода цезия-137 в лесные продукты, м<sup>2</sup>/кг · 10<sup>-3</sup>;  $Q$  – количество потребляемых продуктов, кг/день;  $K_{\text{ко}}$  – среднее значение коэффициента кулинарной обработки.

В растениях может накапливаться, не повреждая их и не снижая урожайности, такое количество радионуклидов, при котором растениеводческая продукция становится непригодной для использования.

Для оценки поступления радионуклидов из почвы в растения используется коэффициент перехода  $K_n$ , который рассчитывают по формуле

$$K_n = A_m / A_s, \quad (4)$$

где  $A_m$  – удельная активность продуктов растениеводства, Бк/кг;  $A_s$  – плотность загрязнения почвы радионуклидом, кБк/м<sup>2</sup>.

Существенное снижение дозовой нагрузки населения происходит за счет выведения радионуклидов при технологической и кулинарной обработке. Принцип выведения радионуклидов из продуктов основан на том, что цезий

растворим в воде и не связан с жировой фазой.

Для оценки степени снижения активности продуктов при технологической и кулинарной обработке используется коэффициент технологической, или кулинарной, обработки,  $K_{\text{ко}}$ , который рассчитывают по формуле

$$K_{\text{ко}} = A_m^{\text{ко}} / A_m, \quad (5)$$

где  $A_m^{\text{ко}}$  – активность продуктов после технологической (кулинарной) обработки, Бк/кг;  $A_m$  – активность продуктов до обработки, Бк/кг.

**2. Пути снижения поступления радионуклидов в продукты питания.** Рассматривая цепочки, по которым радионуклиды попадают в организм человека, легко установить, что для ограничения поступления радионуклидов достаточно в одних случаях исключить какое-нибудь звено, в других, наоборот, добавить. Например, если в цепочку «растение – животное – молоко – человек» добавить звено «сепарация молока», то поступление радионуклидов в организм будет ограничено за счет того, что при сепарации молока значительная часть радионуклидов останется в сыворотке, причем эту сыворотку употреблять в пищу нельзя. Если из пищевой цепочки удалить грибы, радионуклидов в организме окажется меньше. Если между человеком и грибами добавить звено «вымачивание грибов», радионуклидов в организм также попадет меньше.

Кулинарная обработка продуктов питания может привести к существенному снижению содержания в них радионуклидов. При подготовке к употреблению картофеля, корнеплодов, овощей и фруктов, зерна прежде всего необходимо применять элементарные приемы первичной очистки. Причем прежде всего надо удалить те части продукта, в которых накапливается больше всего радиоактивных веществ. Исходя из этого, перед употреблением и приготовлением продукции растениеводства необходимо строго соблюдать следующие несложные правила:

- тщательно промывать в проточной воде любые овощи и фрукты;

- у капусты обязательно снимать 3–4 кроющих листа;

- картофель и корнеплоды тщательно очищать от земли и промывать в проточной воде;

- у корнеплодов обязательно срезать ботву вместе с венчиком 1,0–1,5 см.

Переработка овощей и фруктов (квашение, маринование) приводит к дополнительному снижению радионуклидов, но при этом следует помнить, что рассолы и маринады употреблять в пищу не рекомендуется.

На поступление радионуклидов в организм человека оказывают влияние и особенности питания населения. Основные продукты, по-



требляемые населением, – это молоко и молочные продукты, картофель, мясные продукты, а также ограниченное число овощей и фруктов. Также к широко потребляемым продуктам в нашей республике относятся и дары леса – ягоды, грибы, мясо диких животных, рыба из местных водоемов.

Современная медицина для противолучевой защиты широко применяет химические соединения. Химический метод защиты от радиации основан на том, что химические вещества «вмещиваются» в ту последовательность реакций, которая разворачивается в облученном организме, прерывают эти реакции либо ослабляют их. Поэтому чем глубже мы знаем все механизмы радиационного поражения, тем легче можно найти и подобрать средства, способные противостоят этому механизму.

В настоящее время для противолучевой защиты применяются радиопротекторы, которые вводятся в организм за 20–30 мин до облучения. Такая защита применяется при кратковременном воздействии больших доз ионизирующих излучений (от 1 Гр и выше), а также при лучевой терапии опухолей и не применяются при хроническом облучении малыми дозами.

Более сложной задачей является химическая защита от внутреннего облучения радионуклидами. Радионуклиды, поступившие внутрь организма, накапливаются в отдельных органах и тканях, длительно излучая их. Поэтому предварительное применение радиопротекторов, даже длительно действующих, неэффективно. Химическая профилактика преследует в этом случае другую цель – не допустить накопления радионуклида в критических органах.

В загрязненных регионах Беларуси население попадает под комплексное влияние радионуклидов, тяжелых металлов и нитратов. Они негативно влияют на состояние здоровья населения и приводят к повышению заболеваемости бронхо-легочной, сердечно-сосудистой и других систем организма.

Установлено, что эти нарушения могут поддаваться коррекции с помощью питания. Клинические исследования в Беларуси и Украине свидетельствуют о том, что основная роль во всасывании, выведении, накоплении и распределении этих ксенобиотиков принадлежит пищевому фактору.

Очищение организма человека от радионуклидов, как и от других вредных веществ, идет через почки, печень, желудочно-кишечный тракт. Без применения специальных средств время выведения из организма половины всего цезия-137 у взрослого человека составляет 90–150 дней, у детей – 15–75 дней в зависимости от возраста. Это значит, что человеческий организм практически постоянно будет подвержен воздействию радиации (рисунки).

Особенностью радиационного воздействия цезия-137 является ярко выраженная неравномерность его накопления в различных жизненно важных органах человека. Исследования показали, что в жизненно важных органах (почки, печень, сердце) уровни накопления цезия-137 в 10–100 раз больше, чем, в среднем, во всем теле человека. Например, при среднем содержании цезия-137 50 Бк/кг на все тело накопление цезия-137 в почках достигает 3000–4000 Бк/кг, в сердечной мышце – более 1000 Бк/кг. При этом проявляется токсическое действие цезия-137 и сочетанное негативное действие цезия-137, свинца и нитратов.

### **3. Применение энтеросорбентов для радиационной защиты организма**

Для уменьшения внутреннего облучения и разрушающего действия радиации необходимо проводить ускоренное выведение радионуклидов из организма. Это достигается применением специальных препаратов – энтеросорбентов (энтеро-, греч. *enteron* – кишки). Широко распространены угольные энтеросорбенты не могут в полной мере заменить энтеросорбенты полисахаридной природы – пищевые волокна, всем ходом эволюции приспособленные к физиологии пищеварительной системы человека.

В частности, для радиационной защиты нужны такие вещества, которые обладают сорбционными свойствами по отношению к радионуклидам и, будучи введенными в организм, не нарушают питания, обмена веществ и других функций в организме. Этим требованиям отвечают пищевые волокна, которые являются неусвояемыми углеводами, клетчаткой растительного происхождения.

Способностью связывать и ускоренно выводить из организма токсичные вещества (в т. ч. радионуклиды) обладают некоторые пищевые продукты, в частности пектины. Пектины относятся к растворимым пищевым волокнам, они уменьшают поглощение жиров и холестерина в желудке и в тонком кишечнике, тем самым снижая уровень жиров и холестерина в крови. Особый интерес представляет способность пектина образовывать нерастворимые комплексные соединения с поливалентными металлами – свинцом, ртутью, кобальтом, цинком, хромом, никелем, стронцием, цезием, цирконием и выводить их из организма. В Беларуси выпускаются пектино-витаминные пищевые добавки «Витапект», «Витапект-2», содержащие витамины и микроэлементы. В состав напитка «Витапект» входит: яблочный пектин с добавлением витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, С, Е, бета-каротина, фолиевой кислоты и микроэлементов К, Se, Zn, Ca.

Пектиновые препараты эффективно связывают и выводят из организма радионуклиды и другие вредные для человека вещества. Эти

препараты не являются лекарствами, а относятся к пищевым добавкам, их содержат только естественные продукты – овощи и фрукты.

Пектиновые препараты обладают антидотными, антиоксидантными и радиопротекторными свойствами, благотворно влияют на функции кроветворения, мозгового кровообращения, сердечно-сосудистой системы, работу желудочно-кишечного тракта, печени, способствуют нормализации обмена веществ, повышению иммунитета и профилактики сердечно-сосудистых, аллергических и онкологических заболеваний. Наличие в пектиновых веществах свободных карбоксильных групп галактурновой кислоты обуславливает их свойство связывать в желудочно-кишечном тракте ионы металлов (свинец, ртуть, кадмий, цинк, хром, никель и их соединения), а также радионуклиды стронций, цезий, цирконий и другие с последующим образованием нерастворимых комплексов, которые не всасываются, а выводятся из организма.

Поскольку выведение радионуклидов и тяжелых металлов, циркулирующих в крови, в значительной степени происходит через кишечник, а пектины связывают не только металлы, попавшие в желудок, но и ту часть металлов, которые выделяются из организма через кишечник, пектиновые добавки применяются для ускоренного выведения радионуклидов из кровяного русла. При этом следует иметь в виду, что пектины способствуют выделению из организма и тех радионуклидов, которые депонировались в органах и тканях.

Пектинсодержащие пищевые добавки рекомендуются применять взрослым – по 1–2 чайные ложки 3 раза в день, детям – по 1 чайной ложке 2 раза в день. Продолжительность курса реабилитации – три-четыре недели (ежеквартально). За 3–4 недели выводится до 90% радиоактивных веществ. Важной особенностью пектиновых препаратов является то, что при выводе из организма тяжелых металлов и радионуклидов сохраняется баланс жизненно важных микроэлементов.

Применение пектиновых пищевых добавок увеличивает в 4 раза выведение тяжелых металлов через почки по сравнению с их выделением через желудочно-кишечный тракт.

Пектин ингибирует преимущественно всасывание тяжелых металлов и не препятствует всасыванию физиологических ионов.

Поскольку пектиновые вещества содержатся в различных количествах в овощах и фруктах, то очищение организма идет успешно, если регулярно пить овощные и фруктовые соки, особенно мякотные, употреблять овощи и фрукты. Более всего пектина содержится в цитрусовых: лимонах, апельсинах, мандаринах. Из местных продуктов много пектина содержится в яблоках, сливах, грушах, клюкве, черной смородине, рябине, моркови и столовой свекле, поэтому их важно употреблять круглый год.

Наряду с очищением организма от радионуклидов с помощью пектиновых пищевых добавок особое значение должно придаваться рациональному питанию. Полноценная пища должна содержать белки, жиры, углеводы, витамины и минеральные вещества.

**Выводы.** 1. Радиационному контролю должны подвергаться все объекты среды нашего обитания и человек. Первоочередную важность имеет радиационный контроль продуктов питания и питьевой воды.

2. Включение пектиновой пищевой добавки (3–4 раза в год) в рацион питания жителей загрязненных регионов Беларуси наряду с обучением населения активным методам радиационной защиты является доступной и эффективной мерой радиационной защиты.

3. Использование пектиновых препаратов может явиться основой профилактических мероприятий для работников лесопромышленного комплекса и населения, проживающего в загрязненных регионах Беларуси.

#### Литература

1. Бударков, В. А. Радиобиологический справочник / В. А. Бударков. – Минск: Ураджай, 1992.
2. Бабенко, В. И. Как защитить себя и ребенка от радиации / В. И. Бабенко. – Минск: Знамя, 2003.
3. Нестеренко, В. Б. Рекомендации по мерам радиационной защиты населения и их эффективность / В. Б. Нестеренко. – Минск: Белрад, 2001.
4. Нормы радиационной безопасности. (НРБ-2000). – Минск: М-во здравоохранения РБ, 2000.
5. Ипатьев, В. А. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС. Состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В. А. Ипатьев. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 1999.