

В. В. Перетрухин, доцент; Г. А. Чернушевич, ст. науч. сотрудник

ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ЛЕСА, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ

The article focuses on the main factors influencing the internal radiation doses among the population living in radioactive contaminated areas and taking the products of contaminated forest ecosystems. Forest products is the most dangerous category of foodstuffs. Radioactivity build up of forest products depends on the radioactive contamination density in soil, the form of released radioactive nuclides, the type of their migration and distribution along floor profile, agrochemical descriptions and water relationships of forest floors, biological peculiarities of plants species, climate and other factors.

Введение. Авария на Чернобыльской АЭС заставила в корне пересмотреть взгляды на проблемы радиационной безопасности населения. Крупномасштабная авария привела к увеличению числа людей, вовлеченных в сферу воздействия радиационных факторов на организм человека и условия его жизни. Это в первую очередь связано с лесным хозяйством, так как в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС радиоактивному загрязнению подверглось около 1,7 млн. гектаров лесов Республики Беларусь, или около 23% лесных угодий, в различной степени загрязнены 53 лесхоза отрасли. Из 53 загрязненных лесхозов Беларуси только в четырех пищевая продукция леса по загрязнению цезием-137 не превышает республиканские допустимые уровни. После распада короткоживущих радионуклидов и включения основных долгоживущих дозообразователей цезия-137 и стронция-90 в биологический круговорот веществ радиационная обстановка в лесах изменяется крайне медленно, так как самоочищение происходит только за счет радиоактивного распада, продолжающегося многие десятилетия. В этот период леса прочно удерживают выпавшие радионуклиды, препятствуют выносу их за пределы загрязненных территорий, выполняя тем самым защитную функцию окружающих ландшафтов от вторичного радиоактивного загрязнения. В то же время загрязненный лесной фонд является источником радиационной опасности.

Основная часть. В Государственной программе Республики Беларусь по минимизации и преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на период до 2010 года дальнейшее развитие получает разработка и реализация комплекса защитных мероприятий, направленных на снижение дозовых нагрузок на население, совершенствование системы проведения данных мероприятий [1].

Основной задачей данной программы является выполнение мероприятий по обеспечению безопасного проживания в сложных радиологических условиях, создание нормальных условий для хозяйственной деятельности, проведение защитных мер, направленных на снижение доз радиоактивного облуче-

ния населения. В этих условиях научное исследование проблем, связанных с ведением лесного хозяйства в зонах с повышенным радиационным фоном, приобретает большую актуальность.

На загрязненных радионуклидами территориях лесного фонда в соответствии с «Правилами ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения» организована особая система ведения лесохозяйственной деятельности, обеспечивающая в течение длительного времени эффективное проведение лесохозяйственных мероприятий, безопасные условия труда и получение нормативно чистой продукции. Правилами, в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения, предусмотрен большой объем защитных мероприятий, направленных на обеспечение радиационной безопасности работников леса и населения, пользующегося продукцией леса, предотвращение переноса радионуклидов на более чистые территории [2].

В лесах Беларуси произрастает около 200 типов грибов, из которых 35 хорошо известны и традиционно используются в питании населения, наряду с грибами используются и лесные ягоды. Потребление «даров леса» в доаварийный период в среднем на одного жителя лесных регионов Беларуси составляло 4 кг/год грибов и столько же ягод. Употребление в пищу грибов и лесных ягод приводит к увеличению дозы внутреннего облучения на 0,3 мЗв/год при плотности загрязнения 185 кБк/м². Очевидно, что при более высоких плотностях загрязнения эта доза будет больше. По данным белорусских исследователей [3], пищевые продукты леса, составляющие всего несколько процентов от массы ежедневного рациона сельских жителей Белорусского Полесья, определяют поступление в их организм до 50% общей активности цезия-137, содержащейся в рационе питания (таблица).

Продукты леса – это наиболее опасная категория продуктов питания. Такая ситуация обусловлена рядом факторов: местонахождением радионуклидов преимущественно в прикорневом слое почв, биофизическими и физико-химическими процессами в системе почва –

радионуклиды – растения, определяющих высокую усвояемость радионуклидов растениями.

Таблица

Уровни потребления пищевой продукции леса населением Беларуси 2002–2003 гг.

Пищевая продукция	Потребление, г/день	
	Сельские жители, проживающие возле лесов	Городские жители
Грибы	6–55	< 0,2
Лесные ягоды	3–10	< 0,2

В качестве наиболее важного фактора, определяющего интенсивность накопления радионуклидов в пищевой продукции леса, является поверхностная активность радионуклида в почве (плотность загрязнения радионуклидом почвы). Вместе с тем поступление радионуклидов в лесохозяйственную продукцию зависит от формы нахождения выпавших радионуклидов, характера миграции и распределения радионуклидов по профилю почвы, агрохимических характеристик и водного режима лесных почв, биологических особенностей видов растений, климатических особенностей года [4].

Существенный отпечаток на поведение радионуклидов в лесных почвах накладывает наличие особого органо-минерального слоя – лесной подстилки, состав и свойства которой в пределах насаждений различного возраста и состава варьируют очень широко. Свойства этого слоя определяют разложение органики и высвобождение минеральных элементов в подстилочную часть почвы. Существенную роль при этом играют микроорганизмы, грибы и растения, способные в широких пределах изменять скорости минерализации опада и выхода из него минеральных элементов. Поэтому закономерности поведения радионуклидов в лесных почвах имеют ряд специфических черт, требующих постоянного уточнения и дополнения.

Радиоэкологические исследования о накоплении радионуклидов растениями нижних ярусов леса преследуют две цели. С одной стороны, представляет несомненный научный интерес изучение основных закономерностей и динамики накопления в них радионуклидов, а также оценки роли этих компонентов леса в вовлечении радионуклидов в биологический круговорот. С другой – прогноз уровней загрязнения пищевых продуктов леса (в частности, грибов и ягод) позволит оценить дозу внутреннего облучения при их систематическом употреблении на ближайшую и отдаленную перспективы. Важно также оценить направленность процесса накопления радионуклидов в пищевых продуктах леса, используемых человеком. Необходимо выявить, проис-

ходит ли увеличение, стабилизация или уменьшение содержания радионуклидов в том или ином виде продукции за годы исследований, что необходимо для составления прогнозов внутреннего облучения и разработки нормативов на содержание радионуклидов.

Высокие уровни накопления цезия-137 в грибах были отмечены в Европе еще до аварии на ЧАЭС. Так, удельная активность этого радионуклида в съедобных грибах, собранных в Чехословакии в 1970–1985 гг., достигала 1200 Бк/кг воздушно-сухого вещества. Сходные данные по удельной активности приведены при исследовании радиоактивности грибов в Австрии и Германии. Доаварийная загрязненность грибов в Брагинском и Хойникском районах в среднем составляла 130 Бк/кг.

После аварии на ЧАЭС к проблеме изучения накопления радионуклидов в грибах и других пищевых продуктах леса значительно возрос. Все исследователи грибы выделяют как самый загрязненный компонент лесного биогеоценоза, которому свойственно поглощение цезия-137 интенсивнее по сравнению со стабильным цезием и калием. В то же время грибам не свойственно существенное накопление стронция-90 и изотопов плутония, а также других техногенных радионуклидов. Все исследователи отмечают существенные межвидовые различия в накоплении цезия-137 грибами. На основе исследований предприняты попытки ранжирования грибов по величине коэффициента перехода радионуклида в их плодовые тела. Однако при этом следует принимать во внимание очень высокую неравномерность удельной активности цезия-137 в плодовых телах грибов, собранных даже на относительно малых площадях.

По величине коэффициента перехода цезия-137 грибы разделяются на четыре группы:

- слабонакапливающие: опенок осенний, гриб зонтичный, дождевик жемчужный;
- средненакапливающие: лисичка, подберезовик, гриб белый, подосиновик, рядовка серая;
- сильнонакапливающие: груздь черный, сыроежки всех видов, зеленка, волнушка розовая. Собирать грибы этой группы допускается при плотности загрязнения почв до 37 кБк/м² с обязательным радиометрическим контролем;
- аккумуляторы радиоцезия: гриб польский, масленок осенний, моховик, свинушка. Содержание цезия-137 может превышать допустимый уровень даже при загрязнении почв, близких к фоновому, поэтому сбор этих грибов не рекомендуется.

Накопление радионуклидов в грибах различается не только по их видовой принадлежности, но по содержанию в отдельных частях плодовых тел у одного вида. У грибов с хорошо развитой ножкой, как правило, содержание ра-

дионуклидов в шляпках в 1,5–2,0 раза выше, чем в ножках [5].

Снижения содержания цезия-137 в грибах можно достичь путем вымачивания или отваривания в соленой воде с добавлением уксуса или лимонной кислоты.

Из дикорастущих ягод в наибольшей степени накапливают цезий-137 клюква, голубика и брусника: уже при плотности загрязнения 18,5 кБк/м² содержание радионуклида в них, как правило, будет превышать нормативные значения. Несколько меньше накопление в чернике, землянике и малине, однако при плотности загрязнения цезием-137 37 кБк/м² содержание этого радионуклида в них также будет превышать нормативные значения.

Радиоактивное загрязнение лесов Беларуси резко ограничило использование многих видов лесных ресурсов, оказало негативное влияние на жизнедеятельность населения в загрязненных районах Беларуси.

По данным отдела радиэкологического контроля Могилевского областного ЦГЭ и ОЗ, в прошлом году из 1477 проб грибов грязными оказались 446 (30%), из 830 проб лесных ягод, которые жители приносили на проверку, грязными оказались 178 (21%).

Следует отметить, что на территориях с плотностью загрязнения до 37 кБк/м² в отдельных лесхозах пробы грибов превышали РДУ. Это касается, в первую очередь, лесхозов, расположенных на песчаных почвах.

Нынешнее состояние окружающей среды, несмотря на время, прошедшее с момента катастрофы на Чернобыльской АЭС, оказывает существенное влияние на здоровье населения, проживающее в экологически неблагоприятных регионах Беларуси. С учетом высокой опасности радиации для человека в решении проблемы защиты работников лесной и деревообрабатывающей промышленности от воздействия ионизирующих излучений важное место отводится строгому соблюдению основных принципов и норм радиационной безопасности:

- непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения;
- исключение всякого необоснованного облучения;
- поддержание на возможно низком уровне индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц.

До настоящего времени не существует эффективных контрмер, которые могли бы снизить загрязнение лесных продуктов питания. Поэтому бесконтрольное употребление населением пищевой продукции леса увеличивает дозу внутреннего облучения. Главным критерием снижения дозы внутреннего облучения является уменьшение поступления радионуклидов с продуктами питания и питьевой водой.

В соответствии с «Нормами радиационной безопасности НРБ-2000», индивидуальная предельно допустимая доза от техногенных источников, которую человек может получить за весь период жизни, составляет 70 мЗв, или 1 мЗв/год.

Поэтому основной задачей радиометрии является исключение любого необоснованного облучения. Действие от малых доз облучения может суммироваться или накапливаться. Суммирование доз происходит скрытно. Если в организм человека систематически будут поступать радиоактивные вещества, то со временем это приведет к развитию лучевой болезни.

Реакции органов и тканей человека на ионизирующее излучение весьма разнообразны и определяются параметрами излучения и особенностями организма. Основными факторами, обуславливающими опасность радионуклидов для человека, являются: вид и энергия излучения, период полураспада, физико-химические свойства, распределение по органам и тканям человека, скорость выведения из организма.

Степень биологического действия различных видов излучения зависит от проникающей и ионизирующей способности. Энергия излучения имеет прямую связь с поражающим действием радионуклида: чем она больше, тем сильнее поражение.

Повышенная опасность радионуклидов, попавших внутрь организма, и дозы внутреннего облучения обусловлены несколькими причинами.

Одна из них – способность некоторых нуклидов избирательно накапливаться в отдельных органах тела, называемых критическими, и, таким образом, отдавать свою энергию относительно небольшому объему ткани. Например, до 30% йода депонируется в щитовидной железе, которая составляет только 0,03% массы тела.

По характеру распределения нуклидов в организме отчетливо выделяются три группы, концентрирующиеся в костях (⁹⁰Sr, ²²⁶Ra, ²³⁹Pu), в печени (¹⁴⁴Ce, ²³⁹Pu, ²⁴¹Am) и во всем теле (³H, ⁶⁰Co, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁷Cs). Особенностью радиационного воздействия цезия-137 является ярко выраженная неравномерность его накопления в различных жизненно важных органах 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.

Вторая причина – значительная продолжительность облучения до момента выведения нуклида из органа или уменьшения активности вследствие радиоактивного распада.

Биологические периоды полувыведения нуклидов различаются от десятков суток (³H, ¹⁴C, ²⁴Na) до практически полного усвоения (⁹⁰Sr, ²³⁹Pu). Очищение организма человека от радионуклидов, как и от других вредных ве-

ществ, 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.

Третья причина – рост опасности воздействия высокоионизирующих альфа- и бетаизлучений, которые не опасны для внутренних органов при внешнем облучении ввиду низкой проникающей способности.

Концентрация радиоактивных изотопов в том или ином органе человека может во много раз превышать концентрацию нуклидов в окружающей среде и в организме в среднем. Поэтому локальные поглощенные дозы могут оказаться опасными для накопивших их органов

Приведенные радиобиологические характеристики нуклидов необходимы для расчетов мощности дозы в критическом органе и допустимого хронического поступления их в организм за год.

Мощность эквивалентной дозы в критическом органе человека определяют по соотношению

$$H = A f E_{\text{эф}} 1,6 \cdot 10^{-13} / m ,$$

где A – равновесная активность нуклида во всем теле, Бк; f – доля нуклида в критическом органе относительно общего содержания во всем теле; $E_{\text{эф}}$ – эффективная энергия излучения, МэВ/распад; $1,6 \cdot 10^{-13}$ – энергетический эквивалент 1 МэВ, Дж/МэВ; m – масса органа, кг.

Основой стратегии радиационной реабилитации территорий, подвергшихся радиационному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС, является снижение доз облучения до величин, обеспечивающих достижение приемлемого обществом уровня радиационного риска. В качестве дозовых критериев используется величина годовой дозы и прогнозируемая доза за жизнь. В контексте данной концепции для целей реабилитации производится оценка доз, формируемых только за счет чернобыльских выпадений. Исходя из этого, основными задачами радиационной защиты населения на современном этапе развития поставарийной ситуации является осуществление комплекса оптимизированных мер, направленных на снижение индивидуальных и коллективных доз облучения.

Суммарная ожидаемая эффективная эквивалентная годовая доза учитывает общее облучение за календарный год и включает дозу внешнего облучения и дозу внутреннего облучения радионуклидами, поступившими в организм человека за этот же календарный год.

Доза внешнего облучения формируется главным образом за счет воздействия гамма-

излучающих радионуклидов, находящихся в объектах окружающей среды.

Расчет ожидаемой эффективной эквивалентной дозы внешнего облучения для населения осуществляется на основе ожидаемой динамики мощности эквивалентной дозы, создаваемой цезием-137 с учетом его физического распада и скорости заглубления, характерной для загрязненных территорий Беларуси.

Дозы внешнего облучения могут быть рассчитаны на основе систематических измерений мощности эквивалентной дозы в данном населенном пункте или на основе постоянного контроля с помощью индивидуальных дозиметров.

При хроническом потреблении загрязненных цезием-137 продуктов питания расчет индивидуальной дозы внутреннего облучения осуществляется по формуле

$$H_{\text{внутр}} = k \sum_i m_i \cdot A_{mi} ,$$

где k – пересчетный коэффициент, равный $1,3 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк; m_i – годовое потребление i -того продукта питания, кг; A_{mi} – удельная активность i -того продукта, Бк/кг.

В отличие от внешнего облучения опасность радионуклидов, попавших внутрь организма, обусловлена тем, что их действие продолжается в течение всего промежутка времени, пока радионуклиды не будут выведены из организма в результате физиологических обменных процессов и радиоактивного распада. Внутренне облучение зависит от распределения радионуклидов в критических органах и тканях, при этом преимущественно поражаются те органы и ткани, в которых избирательно накапливается радионуклид. Доза внутреннего облучения, создаваемая радионуклидом, зависит и от характера излучения (альфа-, бета- или гамма-излучение), энергии излучения и эффективного периода полувыведения из организма

На основе информации о годовом потреблении основных продуктов питания и удельной активности по содержанию цезия-137 можно рассчитать годовую дозу внутреннего облучения. Более точная информация о дозе внутреннего облучения населения может быть получена с помощью спектрометров излучения человека (СИЧ). При проведении измерений на спектрометрах регистрируется излучение, исходящее от человека, вследствие находящихся в теле радионуклидов. Согласно методике, предложенной Минздравом Республики Беларусь, пределу в 1 мЗв/год соответствует удельная активность цезия-137 от 361 до 433 Бк/кг в зависимости от возрастной группы.

В профилактике заболеваний и укреплении здоровья населения, проживающего на радиоактивно загрязненной территории, наряду с защитными мерами, применяемыми при ведении

сельскохозяйственного производства, санитарно-гигиеническими и оздоровительными мероприятиями существенное значение имеет правильная организация питания. В рационе питания населения экологически неблагоприятных регионов Беларуси недостаточное количество жиров растительного происхождения, пектинсодержащих веществ, ряда витаминов и некоторых макро- и микроэлементов. Все это обусловлено рядом причин, основной из которых является нерациональная структура потребляемых пищевых продуктов, находящаяся в прямой зависимости от экономического благополучия населения.

Важное место в защите организма занимают вещества природного происхождения, которые можно длительное время применять в условиях малых доз облучения. Известен ряд пищевых добавок, обладающих радиозащитным действием. 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.

Очищение организма идет успешнее, если регулярно пить овощные и фруктовые соки, особенно мякотные, употреблять овощи и фрукты, содержащие пектиновые вещества. 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.

Заключение. Заготовка грибов и ягод должна осуществляться при обязательном про-

ведении радиационного контроля.

Для уменьшения внутреннего облучения и разрушающего действия радиации рекомендуется использовать продукты питания, обладающие радиопротекторным действием и 3–4 раза в год принимать пищевые пектиновые добавки.

Введение обязательного обследования на СИЧ всех жителей загрязненных регионов Беларуси позволит выявить критические группы населения с наибольшими уровнями накопления цезия-137 в их организме и открывает путь к избирательной радиационной защите.

Литература

1. Государственная программа Республики Беларусь по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2001–2005 годы и на период до 2010 года. – Минск, 2001.

2. Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения / Комитет лесн. хоз-ва при Совмине РБ. – Минск, 2002.

3. Байрашевская, Д. А. Формирование дозы внутреннего облучения населения, употребляющего продукты загрязненных лесных экосистем / Д. А. Байрашевская // Актуальные проблемы дозиметрии: материалы 5-го Международ. симпозиума, Минск, 20–21 окт. 2005 г. / Международ. гос. экол. ун-т; под ред. С. П. Кундаса [и др.]. – Минск, 2005. – С. 164–167.

4. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на ЧАЭС: состояние, прогнозы, реакции населения, пути реабилитации монография / В. А. Ипатьев [и др.]; под общ. ред. В. А. Ипатьева. – Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 1999. – 454 с.

5. Переволоцкий, А. Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах: монография / А. Н. Переволоцкий. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. – 255 с.