

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»**

**Т.В. Переволоцкая**

**РАДИАЦИОННОЕ ЛЕСОВОДСТВО :**  
основы лесной радиоэкологии

**Практическое руководство**

**для студентов специальности 1– 75 01 01  
«Лесное хозяйство»**

**Гомель  
УО «ГГУ им. Ф.Скорины»  
2014**

УДК 630\*2:614.876  
ББК 43+28.080.я73  
П27

Рецензенты:

кандидат сельскохозяйственных наук Н.И. Булко;  
кандидат биологических наук Н.Г. Галиновский

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
учреждения образования «Гомельский государственный  
университет имени Франциска Скорины»

**Переволоцкая, Т.В.**

П27 Радиационное лесоводство: основы лесной радиоэкологии:  
практ. рук-во для студентов специальности 1-75 01 01  
«Лесное хозяйство» / Т.В. Переволоцкая; М-во образования РБ,  
Гомельский гос. ун-т им Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ  
им. Ф. Скорины, 2014. – 45 с.  
ISBN 978-985-439-925-6

Практическое руководство предназначено для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство», изучающих курс «Радиационное лесоводство». Рассмотрены основные понятия об источниках ионизирующего излучения в биосфере, закономерностях поведения искусственных радионуклидов в лесных биогеоценозах, а также правилах ведения лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения.

**УДК 630\*2:614.876**  
**ББК 43+28.080.я73**

**ISBN 978-985-439-925-6**

© Переволоцкая Т.В., 2014  
© УО «Гомельский государственный  
университет им. Ф.Скорины», 2014

## Содержание

Введение. . . . .	4
Тема 1. Радиационное лесоводство как научная дисциплина и его связь с другими науками. . . . .	5
Тема 2. Основные сведения о радиоактивном излучении. . . . .	10
Тема 3. Защитные мероприятия в лесном хозяйстве на территории зон радиоактивного загрязнения. . . . .	13
Тема 4. Поступление искусственных радионуклидов в лесные биогеоценозы. . . . .	18
Тема 5. Основные закономерности накопления радионуклидов древесными растениями лесных биогеоценозов. . . . .	22
Тема 6. Радиационные, временные и метеорологические факторы, определяющие накопление радионуклидов древесными растениями. . . . .	26
Тема 7. Влияние лесоводственных и эдафических факторов на уровни накопления радионуклидов древесными растениями. . . . .	29
Тема 8. Основные закономерности накопления радионуклидов в основных видах пищевой продукции леса. . . . .	32
Тема 9. Закономерности накопления радионуклидов лесными животными. . . . .	35
Тема 10. Оценка запасов радионуклидов в основных компонентах лесных биогеоценозов. . . . .	38
Тема 11. Поступление радионуклидов в организм человека. . . . .	41
Литература. . . . .	46

## Введение

Среди факторов техногенного воздействия на окружающую среду особое место занимает радиационный фактор, экологическая значимость которого постоянно возрастает в связи с расширяющимся использованием атомной энергии.

Вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. радиоактивному загрязнению различной степени подверглась часть территории Республики Беларусь. Значительные масштабы радиоактивного загрязнения: примерно 20 % лесного фонда республики, 60% – на территории Гомельского и 60% – на территории Могилевского ПЛХО потребовали изменения подходов к лесохозяйственной деятельности с учетом возможного получения радиоактивно загрязненной продукции и риска превышения допустимых уровней облучения работающих.

После распада короткоживущих изотопов и включения основных долгоживущих дозообразователей цезия-137 и стронция-90 в биологический круговорот, 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, препятствуя выносу их за пределы загрязненных территорий, выполняя тем самым функцию защиты окружающих ландшафтов от вторичного радиоактивного загрязнения. В то же время загрязненный лесной фонд является источником радиационной опасности при его неконтролируемом использовании.

Поэтому подготовка специалистов лесного хозяйства в области лесной радиоэкологии является важным этапом в обеспечении радиационной и экологической безопасности и снижения доз облучения работников при пользовании лесным фондом.

# Тема 1

## Радиационное лесоводство как научная дисциплина и его связь с другими науками

- 1.1 Цели и задачи спецкурса "Радиационное лесоводство"
- 1.2 Радиационное зонирование лесов Республики Беларусь
- 1.3 Масштабы загрязнения лесного фонда Республики Беларусь
- 1.4 Радиобиологические эффекты в лесных биогеоценозах

### 1.1 Цели и задачи спецкурса "Радиационное лесоводство"

Появление радиационного лесоводства, являющегося одним из направлений прикладной радиоэкологии, связано с крупномасштабным радиоактивным загрязнением лесов в результате аварий на НПО "Маяк" (1957 г.) и на Чернобыльской АЭС (1986 г.)

**Радиоэкология** возникла как составляющая часть радиобиологии (науки о воздействии ионизирующего излучения на живые объекты), которая изучает закономерности поступления и миграции между отдельными компонентами биогеоценозов естественных и искусственных радионуклидов.

Для развития радиобиологии и радиоэкологии отправной точкой явилась радиология – наука о радиоактивности. Именно радиология и стала основой для развития всех научных дисциплин в названии которых присутствует слово «радиационная».

В развитии радиоэкологии выделяют 4 этапа:

**Первый этап** становления и накопления начальных данных (с начала XX века до середины 40-х гг.). Основное внимание исследователей направлено на распределение в биосфере тяжелых естественных радионуклидов и на качественные оценки естественного радиационного фона.

**Второй этап** развития радиоэкологии (с конца 40 по 60-е года) был связан с открытием в окружающей среде искусственных радионуклидов источником поступления, которых поначалу явились испытания ядерного оружия, а впоследствии – штатные и аварийные выбросы предприятий ядерного топливного цикла.

**Третий этап** развития радиоэкологии (с 60-х по конец 80-х гг.). Исследования ученых направлены на безопасное использование

ядерной энергетики и радиационных биотехнологий, минимизацию вредного воздействия на человека радиации (радиоактивные отходы, аварийные и штатные выбросы атомных электростанций), использование закрытых и открытых источников ионизирующего излучения в научных исследованиях, промышленности, медицине, сельском хозяйстве.

**Четвертый этап** в развитии радиоэкологии начался с 80-х гг. и был связан с необходимостью быстрее восстановления полноценной жизнедеятельности в зоне аварии на Чернобыльской АЭС, изучению экологических проблем последствий аварии на природную среду.

Радиоактивное загрязнение изменило природные и потребительские свойства лесного фонда, нарушило сложившийся режим ведения лесного хозяйства и многоцелевое использование леса, вызвало большие изменения в системах лесопользования, лесовосстановления, охране лесов от пожаров, защите от вредителей и болезней, организации охраны труда и социальной сфере. Результаты радиоэкологических исследований на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа и в чернобыльской зоне показали, что после распада короткоживущих изотопов и включения основных долгоживущих радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) в биологический круговорот веществ радиационная обстановка в лесах изменяется крайне медленно, так как самоочищение лесов происходит только за счёт радиоактивного распада. Этот процесс происходит многие десятилетия, в течение которых лесной фонд будет представлять территорию радиационно-экологической опасности. Ускорить процесс самоочищения (дезактивации) в лесах инженерно-техническими методами не представляется возможным и экономически не целесообразным.

С учётом этих факторов в лесном хозяйстве на территории зон радиоактивного загрязнения, в целях обеспечения радиационной и экологической безопасности, разработана и применяется специальная система защитных мероприятий и способов ведения хозяйства. Эта система обеспечивает охрану здоровья, особенно работников леса, и экологически безопасное управление лесами.

Вопросы источников ионизирующего излучения в биосфере, закономерности поведения искусственных радионуклидов в лесных биогеоценозах, а также правила ведения лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения являются основными частями курса – "Радиационное лесоводство".

## **1.2 Радиационное зонирование лесов Республики Беларусь**

В начале 1990-х гг. было проведено первое подробное картирование лесов Государственного лесного фонда республики по величине загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ , основного долгоживущего радионуклида "чернобыльского" происхождения в спектре гамма-излучения на "дальнем" следе аварийных выпадений.

Согласно Закону Республики Беларусь "О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС" (принят Палатой представителей 3 мая 2012 года, одобрен Советом Республики 8 мая 2012 года) выделяются зоны радиоактивного загрязнения:

- зона эвакуации (отчуждения) – территория вокруг Чернобыльской АЭС, с которой в 1986 году в соответствии с существовавшими нормами радиационной безопасности было эвакуировано население;

- зона первоочередного отселения – территория с плотностью загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  более 40 Ки/км<sup>2</sup> либо  $^{90}\text{Sr}$  или плутонием, соответственно, 3,0; 0,1 Ки/км<sup>2</sup> и более;

- зона последующего отселения – территория с плотностью загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  15-40 Ки/км<sup>2</sup> либо  $^{90}\text{Sr}$  или плутонием, соответственно, 2-3 и до 0,1 Ки/км<sup>2</sup>;

- зона с правом на отселение – территория с плотностью загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  от 5 до 15 Ки/км<sup>2</sup> либо  $^{90}\text{Sr}$  от 0,5 до 2 Ки/км<sup>2</sup> или плутонием от 0,02 до 0,05 Ки/км<sup>2</sup>;

- зона проживания с периодическим радиационным контролем – территория с плотностью загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  от 1 до 5 Ки/км<sup>2</sup> либо  $^{90}\text{Sr}$  до 0,5 Ки/км<sup>2</sup>.

## **1.2 Масштабы загрязнения лесного фонда Республики Беларусь**

Наиболее загрязненной в результате аварии на ЧАЭС (по состоянию на 2009 г.) оказались леса Гомельской области, в которых плотность загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  свыше 1 Ки/км<sup>2</sup> составляет 55.1% (987.1 тыс.га) лесного фонда, из которых 4.7 тыс. га имеют плотность загрязнения свыше 40 Ки/км<sup>2</sup> (IV зона), 107 тыс.га – 15-40 Ки/км<sup>2</sup> (III зона), 215.5 тыс. га – 5-15 Ки/км<sup>2</sup> (II зона) и оставшиеся леса (659.8 тыс. га) имели плотность 1-5 Ки/км<sup>2</sup>.

При этом важно отметить, что наряду с обследованными лесными кварталами не учтены леса Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, территориально относящиеся к Гомельской области и имеющие преимущественно плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  свыше 40 Ки/км<sup>2</sup> (82.3 тыс. га).

В Могилевской области площадь лесов с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  свыше 1 Ки/км<sup>2</sup> составляет 464.7 тыс.га (38.8% лесного фонда). В зоне с плотностью загрязнения почв радиоцезием свыше 40 Ки/км<sup>2</sup> находится 4.7 тыс. га лесов. В зоне 15-40 Ки/км<sup>2</sup> – 54.4 тыс. га.

В Брестской области 10.5% лесного фонда загрязнено  $^{137}\text{Cs}$  свыше 1 Ки/км<sup>2</sup>. Однако большая часть насаждений (127.7 тыс.га) относится к I-ой зоне радиоактивного загрязнения (1-5 Ки/км<sup>2</sup>) и только 3.5 тыс.га ко II-ой зоне (5-15 Ки/км<sup>2</sup>). Очаги радиоактивного загрязнения сосредоточены, в основном, в восточной части области, небольшие пятна имеются и в центральной части.

В Гродненской и Минской областях радиоактивное загрязнение лесов составляет около 5% площади лесного фонда и почти вся территория относится к I-ой зоне радиоактивного загрязнения (1-5 Ки/км<sup>2</sup>).

В целом же по республике преобладающая площадь загрязненных лесов (72%) имеет плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  1-5 Ки/км<sup>2</sup>, 17% - от 5 до 15 Ки/км<sup>2</sup>, остальные - от 15 и выше.

#### **1.4 Радиобиологические эффекты в лесных биогеоценозах**

В первые недели после аварии, вследствие высокой эффективности задержания частиц радиоактивных выпадений кронами древесных растений имели место большие дозовые нагрузки ионизирующего излучения на критические органы - апикальную меристему, хвою и формирующиеся листья.

По результатам исследований в лесных массивах 30-км зоны, проведенных в 1986 г. и полученным дозиметрическим данным в районе аварии, были выделены пять зон радиационного поражения лесов по степени наблюдаемых радиоморфозов (радиационно-индуцируемых повреждений) сосны обыкновенной:

1. **Зона летального поражения** (полной гибели). Расчетная поглощенная доза по  $\gamma$ -излучению в хвое на 1 июня 1986 г составляла



60-100 Гр, а в тканях апикальной меристемы - 25 Гр; МЭД - 500 и более мР/ч на поверхности почвы.

2. *Зона сублетального (сильного) поражения.* Поглощенная доза – 10-60 Гр, МЭД - 200-500 мР/ч. Отмечалось продолжение роста отдельных побегов, полностью опали молодые репродуктивные почки. Задержка роста привела к возникновению толстых укороченных побегов с короткой и сгущенной хвоей

3. *Зона среднего поражения:* поглощенная доза 4-10 Гр, МЭД 20-200 мР/ч. В этой зоне в 1986 г. были отмечены подавление ростовых процессов, частичное опадение хвои на верхушечных побегах, повреждение репродуктивных почек.

4. *Зона слабого воздействия:* поглощенная доза 0,5-4,0 Гр, МЭД – менее 20 мР/ч. К ней относятся леса за пределами 30-км зоны ближнего пятна и все леса в дальней зоне. Каких-либо аномалий роста у сосны в ней не выявлено. На отдельных участках в 1986-1987 гг. было отмечено некоторое угнетение роста сосны, повышение на 10-12% количества пустых семян, увеличение в мейозе в 2-2,5 раза против контроля числа хромосомных аномалий.

5. *Зона незаметного воздействия* – поглощенная доза 0,1-0,5 Гр. Визуальные повреждения не отмечались. В ряде случаев зафиксировано стимулирующее действие ионизирующей радиации на лесной фитоценоз. Все процессы жизнедеятельности находились в норме на протяжении всего периода облучения.

## **Контрольные вопросы**

1. Какие этапы выделяют в развитии радиоэкологии?
2. Что определило появление радиационного лесоводства и какие оно призвано решать вопросы.
3. Какие выделяют зоны радиоактивного загрязнения лесов Республики Беларусь?
4. Какие выделяют зоны радиационного поражения хвойных лесов по степени наблюдаемых радиоморфозов?

## Тема 2

### Основные сведения о радиоактивном излучении

2.1 Единицы радиоактивности

2.2 Дозовые единицы

2.3 Естественный и техногенный радиационный фон

#### 2.1 Единицы радиоактивности

**Активность радионуклида** – это количество его радиоактивных превращений за единицу времени. Часто применяется синоним – концентрация радионуклида. Чем больше превращений в единицу времени, тем активнее препарат.

Единицей измерения активности (в СИ) является беккерель (Бк, Вq);  $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп./с}$ . внесистемная единица активности - кюри (Ки) - активность радионуклида, в котором происходит  $3,7 \times 10^{10}$  радиоактивных превращений за 1 с.

Применяются единицы **удельной активности**  $A_{\text{уд}}$  - Бк/кг и Ки/кг и **объемной активности**  $A_{\text{об}}$  - Бк/м<sup>3</sup> и Ки/м<sup>3</sup>. Они выражают количество радионуклида в единице массы или объема вещества. Для оценки количества радионуклидов на единице площади пользуются величиной **поверхностной активностью**  $A_{\text{пов}}$  (или плотностью загрязнения), которая выражается в Бк/м<sup>2</sup>, кБк/м<sup>2</sup>, Ки/км<sup>2</sup> и отражает активность радионуклида на единице поверхности.

#### 2.2 Дозовые единицы

Знание удельной и объемной активности радионуклидов и энергии их радиоактивных распадов позволяют оценить энергию излучения, передающуюся в окружающую среду и ее потенциальную опасность для биологических объектов. Для этого применяется понятие дозы.

**Доза** – это доля энергии радиоактивного излучения, которая тратится на ионизацию окружающей среды или биологического объекта. Применяется несколько дозовых показателей.

**Экспозиционная доза** - характеризует степень ионизации сухого воздуха при нормальных условиях. Наиболее часто применяется внесистемная единица – Рентген (Р). Системной единицей экспозиционной дозы является Кл/кг.

**Поглощенная доза ионизирующего излучения** – величина, которая представляет собой отношение средней энергии, переданной ионизирующим излучением веществу в элементе объема, к массе вещества в этом объеме. Единица поглощенной дозы – грей (Гр) – поглощенная доза, соответствующая передаче облучаемому веществу массой 1 кг энергии 1 Дж любого вида ионизирующего излучения. Внесистемная единица – рад,  $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$ .

Доза, учитывающая биологическую эффективность излучения, называется **эквивалентной дозой** и равна поглощенной дозе, умноженной на соответствующий коэффициент качества. За системную единицу эквивалентной дозы облучения принят зиверт (Зв), внесистемную – бэр,  $100 \text{ бэр} = 1 \text{ Зв}$ .

Для измерения дозовых показателей применяются специальные приборы – дозиметры. Обычно они отражают **мощность дозы** – приращение дозы ионизирующего излучения, отнесенное к единице времени, за которое это приращение произошло.

**Мощность экспозиционной дозы ( $\gamma$ -фон)** – это экспозиционная доза, создаваемая за единицу времени.

### 2.3 Естественный и техногенный радиационный фон

К числу естественных источников ионизирующего излучения относится космическое излучение и излучение от естественных радионуклидов.

**Космическое излучение** состоит из  $\gamma$ -квантов, протонов, нейтронов, ядер легких химических элементов, прилетающих к планете из космоса. Основным их источником является Солнце. На уровне моря показатели мощности дозы от космической радиации составляет  $\sim 2,5 \text{ мкР/ч}$  или  $0,3 \text{ мЗв/год}$ . На этот показатель определяющим образом влияет высота – на каждые 1000 м над уровнем моря доза космического излучения удваивается.

**Естественные радионуклиды** – это радиоактивные ядра химических элементов встречающиеся в природе и не созданные в процессе технологической деятельности человека, находятся во всех основных природных средах (почва, вода, воздух и живых организмах), обеспечивая постоянный уровень ионизирующего излучения. Естественные радионуклиды делятся на 2 группы:

**Радиоактивные элементы** – ядра химических элементов, обладающие свойством радиоактивности и находящиеся в таблице элементов Менделеева от свинца до урана.

**Радиоактивные изотопы стабильных элементов.** К таковым относятся, в первую очередь  $^{40}\text{K}$  (распространенность в смеси стабильных изотопов 0,0119%,  $T_{1/2}=1,28 \times 10^9$  лет) и  $^{87}\text{Rb}$  (распространенность 27,85%,  $T_{1/2} = 5 \times 10^{10}$  лет).

Суммарно, от всех естественных источников ионизирующей радиации в нашей республике формируется эквивалентная доза от 1,5 до 2,5 мЗв в год. При этом внешнее облучение определено, в основном, космическим излучением (0,28 мЗв/год), а также g-излучением  $^{40}\text{K}$ , радионуклидов семейств  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ , соответственно, 0,12, 0,09 и 0,14 мЗв/год. Внутреннее облучение обусловлено, в основном,  $\alpha$ -излучением  $^{222}\text{Rn}$  – до 0,8 мЗв/год, радионуклидов семейств  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  – по 0,3 мЗв/год и  $^{40}\text{K}$  – 0,18 мЗв/год.

**Техногенные источники радиоактивного излучения.** В процессе технологической деятельности человека происходит повышение уровня облучения от искусственного увеличения концентрации естественных радионуклидов (строительство, применение минеральных удобрений, радиоактивных веществ в различных отраслях техники и т. д.) и от применения источников ионизирующего излучения (медицина,  $\gamma$ -дефектоскопия и др.).

Строительные материалы (бетон, кирпич и т. д.) могут содержать довольно значительное количество радионуклидов: до 1000 Бк/кг  $^{40}\text{K}$ , до 90-130 Бк/кг  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$ . Значительное количество радионуклидов естественного происхождения содержат минеральные удобрения: до 6000 Бк/кг  $^{40}\text{K}$  (калийные); до 1000 Бк/кг  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$ ; до 500 Бк/кг  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$ . Применение ионизирующих излучений при медицинских процедурах приводит к увеличению ежегодной эквивалентной дозы от 0,5 мЗв в год при флюорографии до десятков и даже сотен мЗв в год при других процедурах.

## Контрольные вопросы

1. Что понимается под активностью радионуклида. Единицы измерения радиоактивности.
2. Что относится к естественным источникам ионизирующего излучения?
3. Какие составляющие определяют техногенный радиационный фон?

## **Тема 3**

### **Защитные мероприятия в лесном хозяйстве на территории зон радиоактивного загрязнения**

3.1 Источники радиационной опасности в лесах, загрязнённых радионуклидами

3.2 Контрмеры, применяемые в лесном хозяйстве

3.3 Технологические, ограничительные, предупредительные и информационные контрмеры

3.4 Радиационный контроль в лесном хозяйстве

#### **3.1 Источники радиационной опасности в лесах, загрязнённых радионуклидами**

Важную роль в перемещении радионуклидов под полог леса играют процессы биологической миграции: опадение листьев, хвои, мелких ветвей и других загрязнённых частей деревьев. В результате такой миграции в лиственных лесах уже через год после выпадения продуктов деления доля их в кронах снижается в несколько раз и, соответственно, возрастает загрязнение лесной подстилки и почвы. В хвойных лесах самоочищение крон происходит в 3...4 раза медленнее. По истечении этого наиболее опасного периода радиоактивные вещества перемещаются в лесную подстилку и почву, где прочно фиксируются.

С течением времени почва становится длительным постоянно действующим источником поступления радионуклидов в продукцию лесного хозяйства за счет поступления радионуклидов в растения по корневому пути. Этот процесс становится главным в загрязнении древесины, а с растительностью радионуклиды попадают в корм животных и пищу человека.

Уровень опасности загрязнения лесных земель определяется не только количеством радионуклидов, но и составом смеси радиоизотопов в почве, так как их физико - химические свойства являются основным фактором, определяющим поведение радионуклидов в почве, их биологическую активность в системе "почва - растение" а также способность к миграции по пищевым цепочкам.

Особую биологическую опасность представляют долгоживущие радионуклиды, в частности,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , являющиеся химическими

аналогами калия и кальция, и отличающиеся высокой биологической активностью и подвижностью.

Цезий-137, попадая на надземные части древесно - кустарниковой растительности, довольно быстро переходит в древесину, в то время как поступление стронция-90 внекорневым путем идет в десятки и сотни раз медленнее.

Обратная картина наблюдается при корневом поступлении:  $^{90}\text{Sr}$  является наиболее подвижным радионуклидом и легко поступающим из почвы в древесные растения. В то же время  $^{137}\text{Cs}$  сильнее сорбируется почвой и потому в относительно меньших количествах переходит в древесные растения. Эти радионуклиды характеризуются относительно высоким выходом при реакции деления, длительным (около 30 лет) периодом полураспада, высокими коэффициентами перехода в растения и интенсивным включением в биологические процессы.

Поэтому меры радиационной безопасности и особенности ведения лесного хозяйства на загрязненных территориях рассчитываются по этим радионуклидам в зависимости от их вклада в общую дозу облучения.

### **3.2 Контрмеры, применяемые в лесном хозяйстве**

На загрязненных радионуклидами территориях мероприятия лесного хозяйства проводятся в соответствии с специальным регламентирующим документом – "Правилами ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения: постановление Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь 10 апреля 2009 г."

Согласно этим правилам ведение лесного хозяйства на загрязненной радионуклидами территории должно быть направлено на решение следующих задач:

– усиление экологической роли леса как биогеохимического барьера, препятствующего выносу радионуклидов за пределы загрязненной территории (для препятствия переноса радионуклидов на сопредельные территории);

– охрана лесов от пожаров в целях предотвращения их гибели и возможного вторичного радиоактивного загрязнения сопредельных территорий;

– экономически эффективное проведение лесохозяйственных мероприятий и непрерывное использование лесных ресурсов при

условии получения нормативно чистой продукции и соблюдения установленного предела годовой дозы облучения.

Для достижения поставленных задач вводится комплекс специальных защитных мер (контрмер), делящихся на 6 групп: организационно-технические, технологические, ограничительные, информационные, социально-экономические, предупредительные.

### **3.3 Технологические, ограничительные, предупредительные и информационные контрмеры**

*Технологические контрмеры.* К ним относятся: проведение работ по специальным технологическим регламентам или специальным проектам, механизация и автоматизация производственных процессов, обеспечение радиационной безопасности работающих, меры по охране лесов от пожаров и другие. Эффективность технологических контрмер заключается в предотвращении дополнительных коллективной и индивидуальных доз облучения работников лесного хозяйства и населения, а также в сохранении биологической устойчивости насаждений и оздоровлении экологической обстановки на загрязненной территории.

*Ограничительные контрмеры* вводятся на разных стадиях радиационной аварии и носят как краткосрочный, так и долговременный характер. К ним относятся: регламентация ведения лесного хозяйства по зонам радиоактивного загрязнения, ограничение доступа населения в загрязненные лесные массивы, ограничение времени работы и другие. Они эффективны с точки зрения снижения доз облучения населения, не требуют больших дополнительных затрат, широко используются как в лесном хозяйстве, так и в других отраслях. В то же время введение ограничительных контрмер приводит к экономическим потерям. Это прямые потери от недополученной прибыли за счет сокращения объемов заготовки древесины по главному и промежуточному пользованию лесом и продукции побочного лесопользования.

*Информационные контрмеры* включают научные исследования, подготовку и повышение квалификации специалистов лесного хозяйства, постоянное информирование работников леса и населения о радиационной обстановке в лесном фонде. Эти контрмеры должны сопровождать ведение лесного хозяйства на всех стадиях радиационной аварии. Им свойственна высокая эффективность, оценить которую можно по предотвращенной дозе облучения.

**Предупредительные контрмеры** проводятся в лесном фонде вокруг радиационно-опасных объектов сопредельных государств в период их работы в штатном режиме на случай гипотетической аварийной ситуации.

Выбор защитных мер при проведении лесохозяйственных мероприятий в зонах радиоактивного загрязнения должен быть обоснован экономической, экологической, социальной, лесоводственной целесообразностью, а базироваться на основных принципах обеспечения радиационной безопасности: нормирования, обоснования и оптимизации.

### **3.4 Радиационный контроль в лесном хозяйстве**

**Радиационный контроль** - получение информации о радиационной обстановке на объектах, в окружающей среде и об уровнях облучения людей

Система радиационного контроля состоит из комплекса мероприятий, направленных на обеспечение радиационной безопасности работников лесного хозяйства, населения при посещении лесов и пользовании лесной продукцией, а также потребителей лесной продукции. Система радиационного контроля включает две подсистемы - радиационный контроль и радиационный мониторинг.

Общее руководство системой радиационного контроля в отрасли осуществляет заместитель Министра лесного хозяйства Республики Беларусь. Руководство службой радиационного контроля в отрасли выполняется специальной службой - Государственным учреждением радиационного контроля и радиационной безопасности "Беллесрад".

Основными задачами службы являются:

- обеспечение радиационной безопасности работников лесного хозяйства, населения при посещении лесов и пользовании лесной продукцией и потребителей лесной продукции;

- проведение радиационного контроля и мониторинга в лесах, радиационный контроль лесной продукции на всех этапах ее производства и реализации.

Общими функциями службы радиационного контроля являются:

- проведение радиационного контроля земель государственного лесного фонда;

- осуществление радиационного контроля лесной продукции на всех этапах ее производства и реализации;

- контроль соблюдения требований радиационной безопасности при проведении работ в лесу и на объектах лесного хозяйства;



– методическое руководство службами радиационного контроля министерств и ведомств, осуществляющими контроль лесных угодий и лесной продукции;

– оценка радиационной обстановки на рабочих местах;

– организация контроля доз облучения работников лесного хозяйства;

– оповещение населения о радиационной обстановке в лесах, возможности использования лесной продукции и оформление соответствующей наглядной информации.

Для исключения возможности переоблучения персонала при работе на загрязненной территории вводится ограничение времени работы на ней, которое обеспечивается соблюдением предельно допустимой продолжительности работы.

**Предельно допустимая продолжительность работы** – это продолжительность работы (в часах за год), в течение которой среднегодовая эффективная доза внешнего облучения не превысит значения *1 мЗв*.

Для снижения дозы облучения до возможно более низкого уровня должны использоваться следующие меры и средства для:

– ограничения продолжительности работы: установление предельно допустимой продолжительности работы, использование технологических операций, требующих минимальных затрат времени;

– снижения дозы внешнего облучения: машины и транспортные средства, обладающие наибольшим экранирующим эффектом;

– ограничения поступления радионуклидов внутрь организма ингаляционным путем: средства защиты органов дыхания, герметизация кабин машин и транспортных средств, технологические операции с минимальным пылеобразованием;

– уменьшения загрязнения радионуклидами кожного покрова: комплект специальной защитной одежды в соответствии с действующими правилами и рекомендациями.

## **Контрольные вопросы**

1. Что является источником радиационной опасности в лесах?
2. На выполнение каких основных задач направлены контрмеры, применяемые в лесном хозяйстве?
3. Для чего необходим радиационный контроль в лесном хозяйстве?
4. Что такое предельно допустимая продолжительность работы?

## **Тема 4**

### **Поступление искусственных радионуклидов в лесные биогеоценозы**

4.1 Особенности осаждения радиоактивных выпадений в лесах

4.2 Пространственная неоднородность радиоактивного загрязнения почв

4.3 Закономерности поведения радионуклидов в лесных почвах

4.4 Распределение радионуклидов в почвах различных типов экосистем

#### **4.1 Особенности осаждения радиоактивных выпадений в лесах**

Крупные массивы леса и даже отдельные деревья могут фильтровать воздушные потоки и эффективно осаждают радиоактивные частицы вследствие большой поверхности надземной фитомассы на единице площади лесного насаждения: на каждый м<sup>2</sup> почвы во взрослом сосновом лесу приходится несколько м<sup>2</sup> поверхности веток, хвои, ствольной коры и т.д., распределенных до высоты в 20–25 метров. В зависимости от скорости ветра осаждение радионуклидов в лесу может быть в 6–12 раз выше, чем у луговой растительности при равных метеорологических условиях, а истощение радиоактивного облака при движении над лесопокрытой территорией происходит в 3,7-5 раз быстрее, чем над открытым пространством, занятым травяной растительностью.

Сразу после аварии на Чернобыльской АЭС связь радиоактивных частиц с поверхностью растений была очень слабая, и под действием ветра, атмосферных осадков они быстро перемещались под полог леса. Наиболее интенсивно процессы дезактивации радионуклидов в растительном ярусе протекали на территориях, где выпали более крупные радиоактивные частицы (в 5–10-километровой зоне отчуждения), а также в лиственных ценозах. В хвойных экосистемах эти процессы протекали медленнее, так как продолжительность «жизни» хвои составляет три-четыре года. В результате чего основную экологическую роль в регулировании миграционных потоков радионуклидов в лесных экосистемах начинает играть почва.

## **4.2 Пространственная неоднородность радиоактивного загрязнения почв**

Распространение воздушных масс, насыщенных радионуклидами на малых высотах, наличие в составе выпадений широкого спектра частиц от крупнодисперсных диаметром  $\sim 100$  мкм до газовых и аэрозольных, а также погодные условия определили собой значительную пространственную неоднородность радиоактивных выпадений в результате аварии на Чернобыльской АЭС не только на больших территориях, но и локальных участках.

Неравномерность радиоактивного загрязнения отмечена в лесных кварталах и выделах как на площадях в десятки и сотни га, так и несколько  $\text{м}^2$ . Всем лесным кварталам, независимо от их принадлежности к той или иной области республики и зоне радиоактивного загрязнения, свойственен индивидуальный характер распределения поверхностной активности  $^{137}\text{Cs}$  в почве. Неравномерное загрязнение лесных кварталов приводит к тому, что каждый из них принадлежит к 2-м, а то и к 3-м зонам радиоактивного загрязнения и имеет индивидуальный характер пространственного распределения полей радиоактивного загрязнения, связанный с особенностями радиоактивных выпадений над конкретным участком.

## **4.3 Закономерности поведения радионуклидов в лесных почвах**

Лесные почвы и в настоящее время с момента аварии на Чернобыльской АЭС остаются мощным депо радионуклидов, причем, основная их масса (до 90%  $^{137}\text{Cs}$  и до 70%  $^{90}\text{Sr}$  от общей плотности загрязнения) содержится в лесной подстилке и верхнем 0-5 см слое минеральной части почвы. Такое распределение определяет их потенциальную доступность к корневому поступлению в лесные растения, прежде всего, грибы и ягоды.

Процесс распределения и миграции радионуклидов в почвенном профиле лесных экосистем определяется следующими факторами:

– плотностью загрязнения почвы радионуклидами. Чем выше плотность загрязнения, тем больше концентрации радионуклидов в одних и тех же почвенных слоях и тем глубже их проникновение;

– условиями увлажнения почвы. При равной плотности загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  наблюдается повышение удельной активности в одних и те же почвенных слоях в ряду от автоморфных к гидроморфным почвам;

– физико-химическими свойствами радионуклидов. Подвижность радионуклидов в почвах определяется их свойствами (физическими – плотностью, температурами перехода в фазовые состояния и др., химическими - валентностью, растворимостью и т.д.).

В целом, следует отметить, что происходит снижение содержания радиоактивных веществ в поверхностных слоях и постепенное повышение – в более глубоких, хотя этот процесс, зависит от ряда вышеуказанных факторов.

#### **4.4 Распределение радионуклидов в почвах различных типов экосистем**

Распределение радионуклидов в почвах агробиогеоценозов определяется особенностями ведения хозяйства: регулярным внесением органических и минеральных удобрений, а также перемешиванием поверхностного слоя почвы при механической обработке. Основная масса радионуклидов в почвах агробиогеоценозов находится в пахотном слое и распределяется в нем равномерно. Зона аккумуляции радионуклидов начинается с глубины 25-30 см, глубже которой при вспашке не достает подошва плуга.

На целинных почвах распределение радионуклидов носит выраженный экспоненциальный характер – в поверхностном слое удельная активность радиоактивных веществ преобладает, а по мере заглубления – уменьшается.

В луговых биогеоценозах на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах с автоморфным режимом увлажнения до 90% радионуклидов находится в поверхностном 0-5 см слое. На дерново-подзолистых временно-избыточно увлажненных, торфянистых и глееватых почвах в этом же слое находится до 30% радионуклидов.

Наименьшие концентрации радионуклидов в пойменных почвах наблюдаются, в основном, в прибрежной зоне пойм, что связано с выносом минеральных и радиоактивных веществ при повышенном промывном режиме и широком распространении песков, слабо закрепленных растительностью.

## **Контрольные вопросы**

1. Какие факторы обуславливают особенности осаждения радиоактивных выпадений в лесах?
2. Что определило пространственную неоднородность радиоактивного загрязнения почв?
3. Какие факторы оказывают влияние на процесс распределения и миграции радионуклидов в почвенном профиле лесных экосистем?
4. В чем отличия лесных почв от почв различных типов экосистем?

## **Тема 5**

### **Основные закономерности накопления радионуклидов древесными растениями лесных биогеоценозов**

5.1 Основные этапы распределения радионуклидов в древесном ярусе

5.2 Распределение радионуклидов между органами и тканями древесных растений

5.3 Особенности распределения радионуклидов в древесине и коре по высоте и диаметру ствола

5.4 Структура загрязнённости  $^{137}\text{Cs}$  неокорённой древесины

#### **5.1 Основные этапы распределения радионуклидов в древесном ярусе**

*1 этап – поверхностное загрязнение растений радионуклидами.* Для древесных растений лесных биогеоценозов характерна сильная задерживающая способность по отношению к атмосферным выпадениям, поскольку их фитомасса распределена на десятки метров над поверхностью земли и является мощным природным фильтром.

Величина первичного задержания и скорость последующего удаления радионуклидов зависит от:

– вида радиоактивных выпадений. Чем больше радионуклидов осаждается в составе крупнодисперсных частиц, тем меньше задерживание растительностью и эффективнее происходит удаление радионуклидов с ее поверхности. В тоже время, радионуклиды в составе водорастворимых соединений способны проникать через кутикулярный слой и включаться в физиологические процессы;

– метеорологических факторов (ветер, осадки), действие которых приводит к более быстрому механическому удалению радиоактивных частиц с поверхности растений;

– морфологических особенностей строения растений. Быстрее удаляются радионуклиды с гладкой поверхности коры (например, береза, осина), нежели шероховатой (сосна). Высокая степень удерживания радионуклидов характерна для ассимилирующих

органов на ранних стадиях их развития из-за повышенной клейкости кутикулярного слоя;

– периода выпадений. Лиственные леса обладают наибольшей задерживающей способностью в весенне-летний период при максимальной степени развития ассимилирующих органов, во время листопада и в необлиственном состоянии их способность задерживать радиоактивные вещества минимальна. Хвоя сосны способна удерживать основную часть радионуклидов до полного обновления, т.е. 2-3 года.

***II этап – корневое поступление радионуклидов в лесные растения.*** Загрязнение растений радионуклидами в настоящее время происходит в результате установившегося их корневого поступления.

При поглощении корневыми системами растений воды и растворенных в ней радиоактивных веществ имеет место восходящее движение радионуклидов в сосудистой ткани к фотосинтезирующим органам. Скорость движения зависит от интенсивности транспирации. Образованные в результате фотосинтеза органические вещества, а вместе с ними и радионуклиды, перемещаются к активно растущим тканям. Поскольку в последнем относятся и корневые системы растений, особенно физиологически активные сосущие корни, ответственные за минеральное питание, то происходит перемещение радионуклидов и к ним, а также частичное выделение в почву за счет корневых выделений. Таким образом происходит перераспределение радионуклидов в растении.

## **5.2 Распределение радионуклидов между органами и тканями древесных растений**

Внутри отдельных органов и тканей древесных растений распределение радиоактивных веществ носит неравномерный характер, зависящее от видовых различий, физиологических и морфологических особенностей строения исследуемых частей растения, а также свойств радионуклидов.

Для  $^{137}\text{Cs}$  установлены выраженные межвидовые различия в накоплении радионуклидов в радиальном направлении ствола, выражающиеся в снижении накопления  $^{137}\text{Cs}$  от периферийных к наружным годичным кольцам у дубы и сосны, слабому повышению в том же направлении у ольхи, и четко выраженному – у осины и

березы. С увеличением относительной высоты удельная активность радиоцезия повышается в годичных кольцах осины и березы.

Для  $^{90}\text{Sr}$  практически для всех пород наблюдается равномерное распределение данного радионуклида в радиальном направлении ствола. Более высокие удельные активности отмечаются с ростом высоты среза у осины и березы. Кроме того, для этих пород выявлено превышение удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в глубинных годичных кольцах по сравнению с внутренними.

### **5.3 Особенности распределения радионуклидов в древесине и коре по высоте и диаметру ствола**

Для всех древесных пород отмечается устойчивый тренд повышения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  по мере увеличения высоты ствола древесных растений. Это связано с увеличением с высотой спила доли физиологически активных тканей, имеющих более высокую удельную активность  $^{137}\text{Cs}$  в общей структуре годичных колец. Особенно четко это проявляется у березы и осины. Концентрация  $^{90}\text{Sr}$  повышается с высотой у всех пород, кроме дуба.

Распределение радионуклидов в коре ствола древесных растений определялось особенностями их строения и динамики радиоактивного загрязнения.

После радиоактивных выпадений в наибольшей степени были загрязнены наружные участки коры. Это было связано с аэральным характером ее загрязнения. В дальнейшем, по мере отшелушивания и опада чешуек коры уровень содержания радионуклидов в наружных частях уменьшался. По мере увеличения корневого поступления удельная активность радионуклидов во флоэме и внутренней коре существенно выросла и в настоящее время они активнее наружных слоев.

### **5.4 Структура загрязнённости $^{137}\text{Cs}$ неокорённой древесины**

Вклад древесины в общую массу неокоренного образца древесины ствола является определяющим и составляет 80-90%, при долевом вкладе коры в массу неокоренного образца древесины менее 20%. Однако, именно коре свойственно значительно большее накопление радионуклидов по сравнению с окоренной древесиной:



наибольший вклад в загрязненность неокоренной древесины дает кора у березы: от 84% у комля до 60% на вершине.

Прямо противоположная ситуация отмечена для сосны. Загрязненность неокоренного образца определяет исключительно древесина, вклад которой повышается с ~60% у комля до 70% в вершинной части (соответственно снижение вклада коры).

По остальным древесным породам различия по высоте менее контрастны, а вклад коры и древесины по высоте у дуба и ели повторяет зависимость для сосны, а для осины и ольхи – для березы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие основные этапы поступления радионуклидов в лесные растения?

2. От каких факторов зависит распределение радионуклидов между органами и тканями древесных растений?

3. Какие отмечаются особенности распределения радионуклидов в древесине и коре по высоте ствола древесных растений?

4. Какой элемент надземной фитомассы древесных растений вносит вклад в загрязненность неокоренной древесины  $^{137}\text{Cs}$ ?

## **Тема 6**

### **Радиационные, временные и метеорологические факторы, определяющие накопление радионуклидов древесными растениями**

- 6.1 Физико-химические формы радиоактивных выпадений
- 6.2 Плотность радиоактивного загрязнения почв
- 6.3 Метеорологические условия
- 6.4 Динамика радионуклидов в органах и тканях деревьев

#### **6.1 Физико-химические формы радиоактивных выпадений**

Физико-химические свойства радионуклидов определяют их распределение внутри растения:

– радиоизотопы стронция накапливаются в надземной фитомассе, причем, наиболее высокие их концентрации отмечаются в стареющих и малоактивных в физиологическом плане тканях. Максимальные концентрации данного радионуклида отмечаются в 2-х летней хвое, несколько более низкие – в сучьях, побегах текущего года и коре, наименьшая удельная активность фиксируется в древесине ствола;

– радиоизотопы цезия распределяются в надземной и подземной растении практически одинаково. Основная закономерность состоит в более высоком накоплении этих радионуклидов в физиологически активных органах и тканях – ассимилирующих органах, побегах текущего года, тонких сосущих корнях, ответственных за минеральное питание. Кора, 2-летняя хвоя и сучья древесных растений имеют примерно одинаковую удельную активность, минимальное накопление характерно для древесины;

– радионуклиды церия, циркония, бария, плутония, америция, рутения накапливаются, в основном, в подземных элементах фитомассы.

#### **6.2 Плотность радиоактивного загрязнения почв**

Чем выше плотность загрязнения почвы радионуклидами, тем больше их концентрация в фитомассе растений одного и того же

вида.

При исследованиях содержания радионуклидов в продукции лесного хозяйства была установлена возможность превышения РДУ/ЛХ-2001 («Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства») на содержание  $^{137}\text{Cs}$  в древесине при плотностях загрязнения более  $15 \text{ Ки/км}^2$ . Поэтому проведение рубок в III зоне радиоактивного загрязнения, в соответствии с существующими «Правилами ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения» (Постановление Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь от 15.01.2001 N 1, документ обновлен в феврале 2010 года) ограничивается и разрешается проводится со специального разрешения Минлесхоза с обязательным обследованием лесосеки.

### 6.3 Метеорологические условия

В древесине сосны, ели, березы и осины отмечается уменьшение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  от весны к осени. Наиболее низкие концентрации  $^{137}\text{Cs}$  наблюдаются в июне-июле. Однако на данный процесс оказывают влияние температура воздуха и количество осадков, которые, в свою очередь, определяют начало и конец сокодвижения и ростовые процессы у древесных растений. По этой причине начало снижения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  весной и повышение её осенью по годам не совпадают. Тем не менее, при заготовке древесины в летний период (июнь-июль) концентрация основного дозообразующего радионуклида –  $^{137}\text{Cs}$  будет минимальной (на 15-25% ниже среднегодовой).

Для удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в древесине и коре характерны очень слабые изменения в течение вегетационного сезона – вариация составляет не более 10% как в одну так и в другую сторону.

### 6.4 Динамика радионуклидов в органах и тканях деревьев

В многолетней динамике содержания радионуклидов в надземной фитомассе древесных растений выделяются три основных этапа:

– *начальный период* (первые 2-3 года после радиоактивных выпадений). Характеризовался наиболее высоким уровнем

радиоактивного загрязнения элементов фитомассы (кора, хвоя, листья). При этом, в течение всего периода наблюдалось интенсивное уменьшение содержания радионуклидов в вышеотмеченных элементах фитомассы, обусловленное поверхностным очищением. Наиболее интенсивное уменьшение имело место в первый год после аварии в связи с удалением более крупнодисперсных, слабо удерживаемых частиц. Загрязнение древесины было минимальным;

– *период нарастания корневого поступления* (конец 80-х годов). Характеризовался интенсивным увеличением содержания радионуклидов в элементах надземной фитомассы, являющихся индикаторами корневого поступления (хвоя, побеги). То же самое отмечалось и для древесины, поступление радионуклидов в которую происходило, в основном, по корневому пути;

– *период стабильного корневого поступления* продолжается с середины 90-х годов по сей день. Он характеризуется практически неизменными величинами коэффициентов перехода в элементы надземной фитомассы сосны.

### **Контрольные вопросы**

1. Как распределяются внутри растения радионуклиды в зависимости от их физико-химических свойств?
2. Как оказывает влияние плотность загрязнения почвы радионуклидами на их концентрацию в фитомассе растений?
3. Какие метеорологические факторы могут оказывать влияние на содержание  $^{137}\text{Cs}$  в древесине основных лесообразующих пород?
4. Какие этапы выделяют в многолетней динамике содержания радионуклидов в надземной фитомассе древесных растений?

## Тема 7

### Влияние лесоводственных и эдафических факторов на уровни накопления радионуклидов древесными растениями

7.1 Видовой состав насаждений

7.2 Классы роста и развития деревьев

7.3 Богатство почв, условия увлажнения

#### 7.1 Видовой состав насаждений

Биологические особенности отдельных растений, влияющие на уровень накопления радионуклидов, возможно выявить только при их произрастании в одном насаждении. Согласно данным по накоплению радионуклидов окоренной древесиной основных лесобразующих пород (вклад главной породы более 70%), в соответствующих условиях произрастания установлено:

– коэффициент перехода  $^{137}\text{Cs}$  у сосны по сравнению с березой выше в 2 раза. Накопление в дубе сопоставимо с березой, а ель, чаще всего, накапливает  $^{137}\text{Cs}$  больше сосны, дуба и березы;

– обобщенный ряд по величине накопления  $^{137}\text{Cs}$  имеет следующий вид: ель > сосна > осина > береза и дуб. Наибольший коэффициент перехода  $^{137}\text{Cs}$  в древесину осины характерен для типа условий местопроизрастания Д2.

По накоплению  $^{90}\text{Sr}$  древесиной на первом месте во всех типах условий местопроизрастания находятся береза бородавчатая и осина. Коэффициент пропорциональности радионуклида для древесины ели обычно занимает третье место и в 2-3 раза ниже. Наименьшее накопление свойственно сосне и дубу. Таким образом, обобщенный ряд по накоплению древесиной  $^{90}\text{Sr}$  имеет следующий вид: береза и осина > ель > дуб и сосна.

При совместное произрастании ель и сосна накапливают в древесине несколько меньше  $^{137}\text{Cs}$  по сравнению с чистыми сосновыми и еловыми насаждениями. В смешанных сосново-березовых насаждениях четких различий по накоплению радионуклида древесиной сосны не отмечено, по березе же более

высокие уровни накопления  $^{137}\text{Cs}$  наблюдались в смешанном насаждении по сравнению с чистым. Для сосново-осиновых насаждений накопление радиоцезия древесиной осины примерно такое же, как в чисто осиновом, а древесина и кора сосны накапливают  $^{137}\text{Cs}$  в 6 раз меньше по сравнению с чистым сосняком. В сосново-дубовом насаждении не выявлено различий в накоплении  $^{137}\text{Cs}$  древесиной и корой сосны по сравнению с чистым сосновым. Отмечено снижение коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  в древесину сосны с увеличением вклада лиственных пород в состав насаждения. В березово-ольховом насаждении коэффициент накопления  $^{137}\text{Cs}$  в древесину и кору ольхи и березы несколько выше относительно их чистых насаждений.

## 7.2 Классы роста и развития деревьев

Значительные различия в величине накопления радионуклидов в древесине одной и той же породы в одном и том же насаждении могут быть связаны не только с неравномерностью радиоактивного загрязнения почвы, но с положением деревьев в насаждении.

Деревья I-II классов роста и развития отличаются более мощной корневой системой, что отражается на величине поглощения питательных веществ ими из почвы, в т.ч. и радионуклидов. Кроме того, они находятся в лучшем световом режиме.

По мере уменьшения линейных размеров деревьев и попадания их в менее благоприятные условия произрастания накопление  $^{137}\text{Cs}$  по сравнению с I классом роста и развития: во II классе уменьшилась в 1,6 раза, в III классе – в 3,0 раза, в IV-V классах – в 3,7-4,3 раза.

Поэтому при радиэкологическом обследовании лесосек рекомендуется рубить деревья I класса роста и развития, как наиболее накапливающие радиоактивные вещества.

## 7.3 Богатство почв, условия увлажнения

Лесные насаждения в пределах одной и той же плотности загрязнения произрастают в различных эдафических (почвенно-грунтовых) условиях, способных оказать существенное влияние на накопление радионуклидов древесными растениями.

Установлено определяющее влияние типов условий местопроизрастания на накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  древесиной основных

лесообразующих пород. Общими закономерностями для древесных пород (сосна, осина и береза) являются:

– снижение коэффициентов перехода обоих радионуклидов для древесины с возрастанием плодородия почвы от боровых к дубравным трофотопам при одинаковых условиях увлажнения;

– повышение коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  для древесины при увеличении условий увлажнения от свежих к мокрым гигротопам в одинаковых условиях почвенного плодородия. Для  $^{90}\text{Sr}$  влияние этого фактора проявляется прямо противоположным образом – при повышении влажности показатели накопления снижаются;

– проявляются региональные изменения в накоплении радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  древесиной сосны и березы.

### **Контрольные вопросы**

1. Как оказывает влияние видовой состав на накопление радионуклидов древесиной основных лесообразующих пород?

2. Деревья какого класса роста и развития рекомендуется рубить при радиоэкологическом обследовании лесосек и почему?

3. Какие установлены закономерности накопления радионуклидов лесными насаждениями, произрастающих в различных эдафотопках?

## **Тема 8**

### **Основные закономерности накопления радионуклидов в основных видах пищевой продукции леса**

8.1 Особенности накопления радионуклидов съедобными грибами

8.2 Особенности накопления радионуклидов лесными ягодами

8.3 Особенности накопления радионуклидов берёзовым соком

#### **8.1 Особенности накопления радионуклидов съедобными грибами**

Для грибов четко выражены межвидовые различия в накоплении  $^{137}\text{Cs}$ , обусловленные принадлежностью к различным трофическим группам: максимальное накопление характерно для микоризообразователей, более низкие уровни накопления отмечаются, как правило, у ксилотрофов, далее, следуют подстилочные сапротрофы, гумусовые сапротрофы.

Анализ средних многолетних значений коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  в съедобные грибы позволяет ранжировать их по накопительной способности на четыре группы:

– слабонакапливающие: дождевик жемчужный, гриб-зонтик пестрый, опенок осенний (коэффициент перехода до  $5 \text{ м}^2/\text{кг}$ );

– средненакапливающие: подберезовик, подосиновик, рядовка серая, лисичка настоящая, белый гриб (коэффициент перехода от 5 до  $20 \text{ м}^2/\text{кг}$ );

– сильнонакапливающие: сыроежки всех видов, груздь черный, волнушка розовая, зеленка (коэффициент перехода от 20 до  $50 \text{ м}^2/\text{кг}$ );

– аккумуляторы радиоцезия: масленок поздний, свинушка тонкая, польский гриб (коэффициент перехода  $> 50 \text{ м}^2/\text{кг}$ ).

Помимо принадлежности рассматриваемого вида к той или иной группе грибов по пищевой специализации, к числу факторов, определяющих накопление  $^{137}\text{Cs}$  лесными грибами, относятся также: внутривидовые различия в накоплении радиоцезия; плотность загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$ , влияние типов условий местопроизрастания, возраст плодового тела.



## 8.2 Особенности накопления радионуклидов лесными ягодами

Лесным дикорастущим ягодам свойственно накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , однако, здесь очень сильно, как и у грибов, проявляются межвидовые различия.

Обобщенный ранжированный ряд по коэффициенту перехода радиоцезия имеет следующий вид: клюква (коэффициент перехода  $0,013 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) > брусника (коэффициент перехода  $0,010 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) > черники (коэффициент перехода  $0,0065 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) > земляника (коэффициент перехода  $0,0038 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) > малина (коэффициент перехода  $0,0026 \text{ м}^2/\text{кг}$ ).

Кроме зонального фактора, на накопление  $^{137}\text{Cs}$  существенно влияет и ряд других:

- плотность загрязнения почвы. Установлена прямо пропорциональная зависимость между содержанием радиоцезия в лесных почвах и ягодах всех исследованных видов;

- гигротоп. При увеличении влажности коэффициент перехода  $^{137}\text{Cs}$  в лесные ягоды существенно возрастает;

- трофотоп. При повышении плодородия почвы отмечается уменьшение накопления  $^{137}\text{Cs}$  лесными ягодами;

- элемент рельефа. Наиболее высокие коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  отмечаются в лесных ягодах у подножий холмов по сравнению с произрастающими на вершине холма;

- элемент фитомассы растений. В частности, у черники 31% от общей активности  $^{137}\text{Cs}$  сосредоточен в листьях, 26% в стеблях и 25% в ягодах, в то время как в корнях – только 18% от имеющегося в растении;

- возраст растения.

Накопителем  $^{90}\text{Sr}$  является земляника (коэффициент перехода  $0,015 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), несколько ниже накопление для малины (коэффициент перехода  $0,00915 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) и черники (коэффициент перехода  $0,00091 \text{ м}^2/\text{кг}$ ).

Также как и для  $^{137}\text{Cs}$ , для  $^{90}\text{Sr}$  установлена пропорциональная связь между плотностью загрязнения почвы и лесных ягод.

### 8.3 Особенности накопления радионуклидов берёзовым соком

Важным фактором, определяющим содержание радионуклидов в березовом соке, является срок отбора. При отборе сока с одних и тех же деревьев к концу сокодвижения удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  увеличивается в 1,8 раза.

Вероятно, повышенное поступление радионуклида в более поздние сроки отбора сока может быть связана с различной степенью его корневого поглощения при различных температурных режимах почвы.

При этом следует отметить, что березовый сок достаточно слабо накапливает  $^{137}\text{Cs}$ . Коэффициенты перехода данного радионуклида в березовый сок составляют  $0,09 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$  для почв с автоморфным режимом увлажнения и  $0,258 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$  – для полугидроморфных почв.

Существенно более высокий уровень накопления характерен для  $^{90}\text{Sr}$ . Даже при относительно малой плотности загрязнения им почвы  $0,21-0,55 \text{ Ки}/\text{км}^2$  объемная его активность в березовом соке достигает 16-20 Бк/л.

Причем наибольшие коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  в березовый сок характерны для полугидроморфных почв, несколько ниже накопление данного радионуклида березовым соком на автоморфных почвах.

На поступление радионуклидов в данный продукт побочного лесопользования существенно влияют условия увлажнения.

#### Контрольные вопросы

1. Какие факторы оказывают влияние на накопление  $^{137}\text{Cs}$  лесными грибами?
2. Какие факторы оказывают влияние на накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  лесными ягодами?
3. Какие факторы оказывают влияние на накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  березовым соком?

## **Тема 9**

### **Закономерности накопления радионуклидов лесными животными**

- 9.1 Поступление радионуклидов с пищей в организм животных
- 9.2 Однократное и хроническое поступление радионуклидов в организм животных
- 9.3 Особенности накопления радионуклидов животными

#### **9.1 Поступление радионуклидов с пищей в организм животных**

В организм животных радионуклиды могут поступать по следующим трем неравнозначным путям: через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и поверхность кожи.

**Кожный путь поступления** значим для высоких концентраций в воздухе хорошо растворимых, биологически активных радионуклидов – йода, фосфора, серы. В этом случае возможно сильное поступление радиоактивных веществ и через **органы дыхания**. При вдыхании газов, пыли и аэрозолей глубина проникновения радионуклидов пропорциональна их размерам и растворимости – чем мельче частицы и выше их растворимость, тем полнее они переходят в кровь.

В настоящее время основное поступление радионуклидов в организмы животных происходит через **желудочно-кишечный тракт**.

Динамика накопления радиоактивных веществ в организме животных определяется следующими закономерностями:

- плотностью загрязнения почвы радионуклидами. Чем выше данный показатель, тем выше содержание радионуклидов во всех компонентах пищевых цепочек;
- периодичностью поступления. Различают однократное и хроническое поступление радионуклидов в организм животных.

#### **9.2 Однократное и хроническое поступление радионуклидов в организм животных**

При одинаковых закономерностях всасывания радионуклидов желудочно-кишечным трактом для обоих случаев, имеется ряд особенностей в общем характере поступления-выведения радиоактивных веществ из организма и долговременной динамики их

содержания

При **однократном поступлении радионуклидов** сразу после приема пищи происходит очень резкое увеличение их содержания в организме и отдельных его органах и тканях, поскольку степень их усвоения из рациона может быть достаточно велика, например, радиоизотопы цезия и йода усваиваются из рациона на 70-100%. В дальнейшем, если повторного поступления радионуклидов в организм не происходит, начинается постепенное выведение радиоактивных веществ.

**Хроническое поступление радионуклидов** характеризуется приблизительно одинаковым содержанием последних в суточном рационе. Особенностью данного процесса является первоначальное нарастание накопления радионуклида в организме, причем, наиболее интенсивно оно в первые дни после начала поступления. Постепенно оно затухает и, наконец, наступает состояние равновесия между поступающим радионуклидом и выводимым.

### 9.3 Особенности накопления радионуклидов животными

**Особенности накопления радионуклидов птицами.** Для этой группы характерны сложные закономерности накопления радиоактивных веществ, что связано с разнообразной кормовой базой и миграцией в поисках пищи. Для оседлых видов (тетерев, глухарь, серая куропатка, рябчик, перепелка) уровень содержания в организме сильнее связан с загрязненностью прилегающих к гнезду территорий, чем у мигрирующих видов.

Существуют сезонные различия в содержании радионуклидов, обусловленные как сезонным фактором в развитии птиц, так и периодом вегетации у растений. Весной тетерева, питаясь березовыми почками, накапливают меньше  $^{90}\text{Sr}$ , чем осенью при сборе корма с земли. Прослеживаются различные концентрации радионуклидов у птиц, которые населяют один биогеоценоз, но имеют различную пищевую специализацию. Так, у ивогли, собирающей корм в кроне дерева накопление радионуклидов ниже, чем у питающихся у земли и на стволах.

В большей степени птицы накапливают  $^{90}\text{Sr}$  костной тканью, чем  $^{137}\text{Cs}$  мышечной, что связано с большей биологической подвижностью последнего. Для растительноядных птиц характерно более высокое накопление  $^{90}\text{Sr}$  чем хищными, поскольку последними костная ткань в пищу не употребляется. Для  $^{137}\text{Cs}$  отмечается обратная зависимость – в мышечных тканях хищников находится большее количество

радионуклида, чем у их жертв.

**Особенности накопления радионуклидов дикими животными.** В одинаковых экологических условиях содержание  $^{137}\text{Cs}$  в мясе растительноядных животных уменьшается в следующем порядке: кабан > заяц-русак > косуля > лось.

Эта закономерность является результатом действия многих факторов, среди которых следует отметить тип питания, ярус с которого оно происходит и интенсивностью обмена веществ.

Для копытных с сложным желудком (лось и косуля) всасывание радионуклидов из пищи в желудочно-кишечном тракте выше, чем у кабана, имеющего простой желудок, что объясняется более тщательной переработкой пищи в желудочно-кишечном тракте у первых, а также существенным влиянием рубца на высвобождение радионуклидов из растительных тканей. Но более высокое содержание радионуклидов в организме кабана определяется пространственным разбросом кормовых участков, а также его роющей деятельностью. Кроме того, лось питается в более высоком ярусе растительности, нежели косуля, кабан и заяц. Меньшие размеры косули и зайца-русака определяют более высокую интенсивность обмена веществ, что способствует накоплению радионуклидов. Для различных видов животных пик накопления  $^{137}\text{Cs}$  приходится на различные месяцы, что вызвано особенностями их питания. Наиболее высокое накопление  $^{137}\text{Cs}$  мягкими тканями дикого кабана отмечается зимой. Лось и косуля относятся к дендрофагам, использующим в пищу побеги деревьев, кустов и кустарничков. Максимум накопления  $^{137}\text{Cs}$  данными животными совпадает с наибольшим содержанием в этих элементах фитомассы – конец лета-осень.

Для  $^{90}\text{Sr}$  не выявлено варьирования содержания в организме животных в течение вегетационного сезона, тем более, что накапливается он в костной ткани, неиспользуемой для промысловых целей.

## **Контрольные вопросы**

1. Какой основной путь поступления радионуклидов в организм животных в настоящее время?
2. Что понимается под хроническим поступлением радионуклидов в организм животных?
3. Что определяет особенности накопления радионуклидов дикими животными?

## **Тема 10**

### **Оценка запасов радионуклидов**

#### **в основных компонентах лесных биогеоценозов**

10.1 Запас радионуклидов в надземной фитомассе древесных растений

10.2 Многолетняя динамика запасов радионуклидов в надземной фитомассе

10.3 Прогноз поступления радионуклидов в надземную фитомассу насаждений

#### **10.1 Запас радионуклидов в надземной фитомассе древесных растений**

В надземной фитомассе древесных растений лесных биогеоценозов наиболее интенсивные изменения запасов  $^{137}\text{Cs}$  наблюдались в первые годы после аварии на Чернобыльской АЭС и были связаны с интенсивным очищением поверхностно загрязненных элементов (коры и веток) и корневым поступлением в древесину и ассимилирующие органы текущего года формирования.

В настоящее время запас радионуклидов в элементах надземной фитомассы практически стабилизировался, при этом величина параметра для  $^{137}\text{Cs}$  находится в прямой связи от загрязнения почвы, возраста насаждения, условий увлажнения и в обратной – от тропотопа и условий увлажнения для  $^{90}\text{Sr}$ .

В целом же, и через 27 лет после поступления радионуклидов в почву, леса остаются мощными депозитариями радионуклидов. Наибольшую активность  $^{137}\text{Cs}$  удерживают черноольховые леса, в древесине и коре которых сосредоточено до 12% радионуклида от общего в экосистем, а  $^{90}\text{Sr}$  – дубравы (до 50%), березняки и осинники (до 25%).

#### **10.2 Многолетняя динамика запасов радионуклидов в надземной фитомассе**

Динамика суммарной активности  $^{137}\text{Cs}$  в каждом из элементов надземной фитомассы определяется изменениями биомассы и удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ .

Запас  $^{137}\text{Cs}$  в древесине определен величиной накопленной в глубинных слоях, и слабо участвующей в перемещении, его транзитом к ассимилирующим органам от корней и обратным переходом с нисходящим потоком. Здесь также участвует часть радионуклида, поступившая во вновь образуемую биомассу и та доля, которая мигрировала в иные компоненты. До середины 1990-х активность  $^{137}\text{Cs}$  в древесине повышалась не только за счет прироста загрязненной биомассы, но и благодаря дополнительному корневому поступлению, поскольку квазиравновесное распределение радионуклида в системе "почва-растение" еще не было достигнуто. Неизменность запасов или их снижение со скоростью радиоактивного распада можно охарактеризовать как достижение квазиравновесного распределения, когда поступление радионуклидов в древесину с прирастающей биомассой компенсируется очищением (за счет распада и перераспределения между органами и тканями), фактически, роль древесины сводится к удерживанию уже накопленных радионуклидов, а также к их транзиту. С 1997 года в данном элементе надземной фитомассы отмечается стабилизация параметра.

Для веток с корой изменения запаса  $^{137}\text{Cs}$  во многом сходно с древесиной. Оценка потока радионуклида в данные элементы фитомассы свидетельствует о меньшей его интенсивности и выраженности, что вполне ожидаемо – их биомасса меньше на порядок по сравнению с древесиной.

Несколько иная ситуация для хвои, являющейся индикатором корневого поступления, – накопление  $^{137}\text{Cs}$  в ней идет в течение всего срока вегетации, фактически отражая поток в данный элемент фитомассы.

Вероятно, накопление  $^{137}\text{Cs}$  в надземной фитомассой древесных растений определяется, главным образом, нахождением радионуклида в почвенном растворе, поскольку величина потока  $^{137}\text{Cs}$  в надземную фитомассу (менее 1,5% от активности почвы) близка к содержанию радионуклида в водорастворимой форме в 0-10 см слое минеральной части почвы.

### **10.3 Прогноз поступления радионуклидов в надземную фитомассу насаждений**

Планирование использования древесных ресурсов на загрязненных территориях возможно только на основе результатов

прогнозирования содержания радионуклидов в надземной фитомассе древесных растений. Согласно которым с конца 1990-х гг. для данных элементов фитомассы была отмечена тенденция к снижению активности  $^{137}\text{Cs}$ .

В дальнейшем содержание радиоцезия определяется совокупностью биологических и физических процессов, определяющих его накопление в каждом элементе надземной фитомассы: радиоактивный распад, прирост биомассы древесины, перераспределение радионуклида по физико-химическим формам с различной доступностью, миграция за пределы корнеобитаемого слоя, изменения корневого поступления  $^{137}\text{Cs}$  и т.д.

К 2035 году активность  $^{137}\text{Cs}$  в окоренной древесине оценена величиной 55-80 кБк/м<sup>2</sup>, в хвое и ветках – менее 40, в коре – ~ 10 кБк/м<sup>2</sup> при поверхностной активности радионуклида в 0-20 см слое почвы + лесной подстилке – 1500 кБк/м<sup>2</sup>.

### **Контрольные вопросы**

1. От каких факторов зависит величина накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  элементами надземной фитомассы?
2. В чем заключается особенность накопления  $^{137}\text{Cs}$  хвоей сосновых насаждений?
3. Что является основой для планирования использования древесных ресурсов на загрязненных территориях?



# Тема 11

## Поступление радионуклидов в организм человека

11.1 Особенности поступления радионуклидов в организм человека

11.2 Допустимые уровни содержания радионуклидов в продуктах питания

11.3 Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесной продукции

11.4 Особенности облучения работников лесного хозяйства

### 11.1 Особенности поступления радионуклидов в организм человека

Основные пути поступления естественных и искусственных радиоактивных элементов в организм человека: *пероральный, ингаляционный и кожный*.

При *пероральном поступлении* радионуклиды, в результате переваривания пищи, всасываются через эпителий в кровь (главную роль здесь играет тонкий кишечник). После поступления в кровь распределение радионуклидов в организме определяется, главным образом, физико-химическими их свойствами и свойствами жизненно важных химических элементов – неизотопных аналогов радионуклида. Например,  $^{137}\text{Cs}$  ведет себя так же, как и стабильный калий – это неизотопные аналоги щелочные металлы,  $^{90}\text{Sr}$  – как и стабильный кальций.

При *ингаляционном поступлении* чем меньше дисперсность радиоактивных частиц, тем больше их поступает в альвеолярные отделы легких, чем в большей степени радионуклиды всасываются в ЖКТ, тем в большей степени они поступают и в легкие. При попадании радионуклидов, образующих труднорастворимые гидроксиды и коллоиды, происходит отложение в верхних дыхательных путях, на слизистой трахеи, бронхов, откуда с помощью мерцательного эпителия переводятся в глотку, а затем и в желудок. Из альвеолярного отдела происходит постепенное перемещение лимфоузлы. Еще медленнее происходит поступление в кровеносные сосуды.

Но в целом, общая величина поступления трудноусваиваемых радионуклидов в легкие в десятки и сотни раз выше, чем в желудке, так как время контакта там существенно больше.

*При проникновении через кожу* радиоактивному элементу противостоит защитный слой эпидермиса. Если же через данный слой радионуклид прошел – он пройдет и дальше. В наибольшей степени это свойственно тритию – через час после внесения на поверхность кожи в составе водного раствора он поглощается полностью, достаточно активно проникают радионуклиды йода, в наименьшей степени – радионуклиды стронция и бария.

Но практически всегда поступление радионуклидов в организм человека определяется комбинацией вышеуказанных путей.

## **11.2 Допустимые уровни содержания радионуклидов в продуктах питания**

Для снижения поступления радионуклидов в организмы людей после аварии на чернобыльской АЭС были введены специальные нормативы содержания радиоактивных веществ в продуктах питания РДУ (Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде). Согласно нормативам содержания радиоактивных веществ в продуктах питания (РДУ-99 ГН 10-117-99) при употреблении им соответствующих в организме формируется внутренняя доза 0,9 мЗв/год.

Суммарная дозовая нагрузка от радионуклидов "Чернобыльского" происхождения зависит от ряда факторов, но определяется, фактически, одним радионуклидом –  $^{137}\text{Cs}$ :

– плотностью загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$ . Чем данный показатель выше, тем выше дозы внешнего и внутреннего облучения;

– временем пребывания на участках с повышенным содержанием радионуклидов. Чем дольше времени и чем выше плотность загрязнения участка на которой находится человек, тем выше им будет накоплена доза внешнего облучения;

– рационом питания. Чем больше в рационе продуктов питания с высокой удельной активностью (лесные грибы и ягоды, дичь), тем выше доза внутреннего облучения;

– характером ведения хозяйства. В частном секторе превышение РДУ-99 отмечается гораздо чаще, чем в государственном, что связано с выпасом скота на окультуренных пастбищах в последнем случае, а

также применением минеральных удобрений, известкованием почв при сельскохозяйственных работах;

– зональным фактором. Загрязненность продуктов питания в Брестской области чаще превышает РДУ-99 по сравнению с Гомельской и Могилевской, несмотря на более высокие уровни загрязнения последних, что связано с легкими по механическому составу почвами, формируемыми на водноледниковых песках на Брестчине.

Содержание радионуклидов в продуктах питания последних лет практически стабилизировались на уровнях не превышающих РДУ-99.

Суммарные дозы облучения, накопленные при проживании даже при высоких уровнях облучения, как свидетельствуют данные научных исследований, недостаточны для формирования какого-либо значимого радиобиологического эффекта. По крайней мере, в научных изданиях отсутствуют данные о таком влиянии.

Вместе с тем, высокие дозовые нагрузки на щитовидную железу на момент аварии привели к почти 10-кратному увеличению числа раков этого органа – в 1995-1997 гг. ежегодно выявлялось 120-130 случаев заболевания на 100000 детей.

### **11.3 Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесной продукции**

Гигиенические нормативы ГН 2.6.1.10-1-01-2001 "Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001) установлены (таблица), исходя из квоты дополнительного облучения населения за счет древесины, продукции из древесины и древесных материалов, прочей непищевой продукции лесного хозяйства, равной  $0,1 \text{ м}^3$  в год.

Допустимые уровни на древесину и продукцию из нее (кроме отдельных видов продукции лесохимии), прочую продукцию лесного хозяйства установлены на нормализованную влажность.

**Нормализованная влажность** – равновесная влажность, приобретаемая при температуре  $(20 \pm 2)^\circ \text{C}$  и относительной влажности среды  $(65 \pm 5)\%$ . Допустимые уровни на мебель,

строительные материалы и изделия из древесины устанавливаются по материалам, идущим на их изготовление.

Соответствие допустимому уровню устанавливается путем сравнения допустимого уровня с измеренным значением содержания цезия-137 в продукции плюс методическая погрешность его определения.

Таблица 1 – Гигиенические нормативы ГН 2.6.1.10-1-01-2001 "Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей пищевой продукции лесного хозяйства" (РДУ/ЛХ-2001)

Наименование продукции	Бк/кг, Бк/л
1. Лесоматериалы круглые	
1.1 Лесоматериалы круглые для строительства стен жилых зданий	740
1.2 Лесоматериалы круглые прочие	1480
2. Древесное технологическое сырье	1480
3. Топливо древесное	740
4. Пилопродукция, изделия и детали из древесины и древесных материалов	
4.1 Пиломатериалы, изделия и детали из древесины и древесных материалов для строительства (внутренней обшивки) стен жилых зданий	740
4.2 Пилопродукция, изделия и детали из древесины и древесных материалов прочие	1850
5. Прочая пищевая продукция лесного хозяйства	1850

#### **11.4 Особенности облучения работников лесного хозяйства**

В виду того, что выполнение профессиональных обязанностей работниками лесного хозяйства, непосредственно обслуживающих лесные угодья, связано с длительным пребыванием в лесу, следует

ожидать, что данная категория работников подвержена повышенному риску от воздействия внешнего облучения.

При работе на территории загрязненной радиоактивными веществами, работники лесного хозяйства подвергаются воздействию:

– внешнего облучения всего организма. Внешнее облучение формируется за счет ионизирующего излучения от радионуклидов рассеянных по поверхности почвы, осевших на деревьях и кустарниках и является постоянно действующим фактором для всех людей, проживающих на загрязненной территории;

– внутреннего облучения организма продуктами питания. Внутреннее облучение от потребляемых продуктов питания, содержащих радионуклиды, практически не связано с профессией работающих и может быть ослаблено за счет включения в рацион привозных продуктов;

– контактного облучения кожной поверхности и ингаляционному воздействию.

Показано, что дозы внешнего облучения, полученные работниками лесного хозяйства, непосредственно занятых в лесу, в 1,5-3 раза выше, чем у других категорий работников (занимающихся делопроизводством) и жителей населенных пунктов, что обусловлено повышенным уровнем потребления "даров леса".

Таким образом, данную категорию работников лесного хозяйства можно отнести к одной из "критических" групп по дозе внешнего и внутреннего облучения.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите основные пути поступления естественных и искусственных радиоактивных элементов в организм человека.

2. Что определяет формирование суммарной дозовой нагрузки от радионуклидов "Чернобыльского" происхождения?

3. Назовите особенности формирования внешнего облучения работников, непосредственно занятых в лесу.

4. Назовите особенности формирования внутреннего облучения работников, непосредственно занятых в лесу.

## Литература

1. Переволоцкий, А.Н. Радиоэкология / А.Н. Переволоцкий, А.В. Гаврилов, И.М. Булавик // Пособие для студентов биологич. специальностей высших учебных заведений. – Минск: НПООО "Пион", 2000. – 112 с.
2. Инструкция по отнесению лесных кварталов к зонам радиоактивного загрязнения: утв. М-вом лесного хозяйства Респ. Беларусь 03.05.2001: Минск: Минлесхоз Респ. Беларусь, 2001. – 23 с.
3. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей пищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001): утв. М-вом лесного хозяйства Респ. Беларусь 11.01.2001: Минск: Минлесхоз Респ. Беларусь, 2001. – 3 с.
4. Правила проведения рубок леса в зонах с плотностью загрязнения почв цезием-137 15 Ки/км<sup>2</sup> и более: утв. Комлесхозом Респ. Беларусь 31.10. 2002: : Минск: Комлесхоз Респ. Беларусь, 2003. – 13 с.
5. Переволоцкий, А.Н. Основы ведения лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения / А.Н. Переволоцкий, И.М. Булавик – Минск: Белгослес, 2003. – 144 с.
6. Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения: утв. М-вом лесного хозяйства Респ. Беларусь 10 апреля 2009: Минск: Минлесхоз Респ. Беларусь, 2009. – 42 с.
7. Правила отвода и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь: утв. М-вом лесного хозяйства Респ. Беларусь 30 июня 2010: Минск: Минлесхоз Респ. Беларусь, 2010. – 66 с.
8. Радиационный контроль. Обследование лесосек. Порядок проведения: ТКП 239.2010 (02080). – Введ. 01.06.2010 Минск: Минлесхоз Респ. Беларусь, 2010. – 22 с.
9. Радиационный контроль. Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения: ТКП 240.2010 (02080). – Введ. 22.02.2010 – Минск: Минлесхоз Респ. Беларусь, 2010. – 18 с.
10. Радиационный контроль. Объекты лесного хозяйства, рабочие места. Порядок проведения: ТКП 250.2010 (02080). – Введ. 28.06.2010 – Минск: Минлесхоз Респ. Беларусь, 2010. – 35 с.
11. Радиационный контроль. Отбор и подготовка проб лесной продукции. Порядок проведения: ТКП 251.2010 (02080). – Введ. 28.06.2010 – Минск: Минлесхоз Респ. Беларусь, 2010. – 29 с.

12. Инструкция о порядке ведения охотничьего хозяйства и охоты на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению утв. М-вом лесного хозяйства Респ. Беларусь 13.10.2010 – Минск: Минлесхоз Респ. Беларусь, 2010. – 23 с.

13. Устойчивое лесоуправление и лесопользование. Наставление по лесовосстановлению и лесоразведению в Республике Беларусь: ТКП 047-2009 (02080). – Введ. 28.06.2010 – Минск: Минлесхоз Респ. Беларусь, 2010. – 128 с.

Производственно-практическое издание

**Переволоцкая** Татьяна Витальевна

**РАДИАЦИОННОЕ ЛЕСОВОДСТВО:**  
основы лесной радиоэкологии

Практическое руководство

для студентов специальности 1–75 01 01  
«Лесное хозяйство»

Редактор *В. И. Шкредова*  
Корректор *В. В. Калугина*

Подписано в печать 10.10.2014. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 2,8 л.  
Уч.-изд.л. 3,1 Тираж 40 экз. Заказ № 537

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждения образования  
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий №1/87 от 18.11.2013.  
Специальное разрешение (лицензия) №02330 / 450 от 18.12.2013.  
ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель