

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

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ДРЕВЕСИНЕ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД

The article dwells upon the analysis of the main factors influencing the processes of radioactivity build up by the ground phytomass elements of woody plants.

In terms of continuous dynamics of radioactivity build up by woody plants, it is possible to predict the degree of valuable species contamination for near term and long-term outlooks. This allows selective utilization of rawwood from contaminated areas in accordance with the republican allowable levels RAL/F-2001.

Введение. Авария на Чернобыльской АЭС по масштабам радиоактивного загрязнения окружающей среды и специфике радиоактивных выпадений над большими территориями поставила новые задачи по радиационно безопасному, экономически целесообразному и биологически обоснованному ведению лесного хозяйства на загрязненных радионуклидами территориях. Очевидно, что загрязнение 1/4 лесного фонда нашего государства с традиционно высоким уровнем пользования лесными ресурсами и интенсивным характером ведения лесного хозяйства не позволяет полностью исключить лесопользование в загрязненных лесах, а требует совершенно новых подходов к проведению лесохозяйственных мероприятий на загрязненных территориях.

Основная часть. Спустя более 20 лет после Чернобыльской катастрофы, несмотря на процессы физического распада цезия-137 и стронция-90, загрязнение этими радионуклидами древесины и даров леса в Чернобыльской зоне Беларуси за последние годы существенно не уменьшается. Такая ситуация обуславливается рядом факторов: местонахождением радионуклидов преимущественно в прикорневом слое почв, биофизическими и физико-химическими процессами в системе почва – радионуклиды – растения, обуславливающих высокую усвояемость радионуклидов растениями.

Степень загрязнения компонентов лесных биогеоценозов радионуклидами определяют:

- плотность радиоактивного загрязнения почвы;
- формы нахождения выпавших радионуклидов;
- характер миграции и распределение радионуклидов по профилю почвы;
- агрохимические характеристики и водный режим лесных почв;
- биологические особенности видов растений и их возраст;
- климатические особенности года.

Существенный отпечаток на поведение радионуклидов оказывает наличие особого органоминерального слоя – лесной подстилки, состав и свойства которой в пределах насаждений различного возраста и состава варьируют очень ши-

роко. Свойства этого слоя определяют разложение органики и высвобождение минеральных элементов в подстилочную часть почвы [1].

По мере минерализации подстилки происходит высвобождение минеральных и радиоактивных веществ. Интенсивность этого процесса определяется: мощностью подстилки, наличием и видовым составом напочвенного покрова, условиями увлажнения, составом и возрастом насаждений, микробиологической активностью.

В наиболее общем случае способность лесных подстилок удерживать радионуклиды находится в прямой зависимости от массы подстилки на единице площади. Переход радионуклидов из лесной подстилки в минеральную часть почвы происходит в виде водорастворимых металлоорганических соединений хелатного типа – продуктов разложения органического вещества.

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

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

- неперевышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения;
- исключение всякого необоснованного облучения;
- поддержание на возможно низком уровне индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц [2].

После распада короткоживущих радионуклидов и включения основных долгоживущих дозообразователей цезия-137 и стронция-90 в биологический круговорот веществ радиацион-

ная 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.

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 [3].

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС», выделено 4 зоны радиоактивного загрязнения лесов с различной плотностью загрязнения цезием-137 и разными уровнями ограничений на ведение в них лесохозяйственной деятельности.

Распределение территории гослесфонда республики по зонам радиоактивного загрязнения следующее:

1-я зона – 37–185 кБк/м² – 1243 тыс. га (72,8% от всех загрязненных лесов);

2-я зона – 185–555 кБк/м² – 300,2 тыс. га (17,5%);

3-я зона – 555–1480 кБк/м² – 139,7 тыс. га (7,6%);

1-я зона – свыше 1480 кБк/м² – 35,9 тыс. га (2,1%);

Следовательно, более 90% общего загрязненного лесного фонда приходится на 1-ю зону, из них 85,4% относится к лесопокрытой площади.

Заготовка древесины в 1-й и 2-й зонах может вестись и ведется без ограничений. В 4-й зоне проведение лесозаготовительных работ не разрешается из-за трудностей в обеспечении радиационной безопасности работающих и получении «чистой» продукции.

Заготовка древесины и последующее получение лесопроductии в 3-й зоне разрешается только в соответствии с «Правилами ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения».

Радиоактивное загрязнение лесной продукции, ограничивающее ее использование, следует ожидать в последующие 30–40 лет на территориях с плотностью загрязнения 185–555 Бк/м². Поэтому значительная часть древесного сырья на предприятия деревообрабатывающей промышленности может поступать из зон с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения.

Леса Беларуси, подвергшиеся радиоактивному загрязнению, находятся в различных условиях произрастания, имеют разный породный состав, возраст, расположены на различных расстояниях от Чернобыльской АЭС. Последний фактор в некоторой мере обуславливает различную физико-химическую форму выпадений. В результате многолетних исследований, а также с учетом литературных данных установлено значительное влияние указанных факторов на уровень накопления цезия-137 в различных органах древесных растений.

В лесных экосистемах изменение содержания радионуклидов происходит только за счет естественных факторов. Уменьшение содержания цезия-137 в верхних слоях почвы, в которых расположено основное количество корней растений, происходит в большей степени за счет их миграции. Этот процесс зависит от ряда факторов, в том числе от темпа миграции радионуклидов по почвенному профилю. Миграция цезия-137 в вертикальном профиле почвы зависит от условий местопроизрастания растений.

В лесных экосистемах аккумулятором радионуклидов является подстилка. Из подстилки лиственных пород радионуклиды мигрируют в минеральную часть почвы быстрее, а из подстилки хвойных лесов несколько медленнее. При повышенном увлажнении этот процесс еще более активизируется. В зависимости от мощности лесной подстилки запас цезия в ней может достигать 70%.

В процессе выполнения на кафедре безопасности жизнедеятельности научно-исследовательской работы ГБ 37–01 исследовалось древесное сырье и выпускаемая продукция цеха древесноволокнистых плит ОАО «Борисовдрев».

В настоящее время значительная часть древесного сырья, поступающего на предприятия деревообрабатывающей промышленности Республики Беларусь, может быть с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения.

Так, на ОАО «Борисовдрев» древесное сырье поступает из Борисовского, Крупского, Толочинского лесхозов, 10 лесничеств которых (общей площадью около 10 000 га) находятся в зонах радиоактивного загрязнения плотностью загрязнения почв цезием-137 от 37–185 кБк/м² (1–5 Ки/км²).

Исходя из нормативов РДУ/ЛХ-2001, определяющих допустимое содержание цезия-137 в деловой древесине при поверхностной актив-

ности цезия-137 более 74 кБк/м², возможно превышение указанных нормативов в древесине ольхи. У дуба превышение норматива 740 Бк/кг в неокоренной древесине возможно при поверхностной активности более 185 кБк/м². Знание этих закономерностей в накоплении цезия-137 позволяет оптимизировать лесопользование на загрязненных территориях. В древесине ольховых лесов на загрязненных радионуклидами территориях накапливается 10–12% цезия-137 от общего запаса в лесном биогеоценозе.

Биологическую доступность цезия-137 для растений оценивали по коэффициенту перехода (K_n). Наибольшие значения K_n характерны для физиологически активных органов растений – хвои однолетней (листьев) и мелких корней с диаметром менее 1 мм, коры (табл. 1).

Таблица 1

**Коэффициент перехода цезия-137
в наземную фитомассу сосны
мшистого типа лесов (Бк/кг/кБк/м²)**

Наименование	Год исследования				
	2002	2003	2004	2005	2006
Древесина	0,32	0,39	0,31	0,37	0,31
Хвоя однолетняя	3,19	3,41	2,98	3,42	3,02
Кора	1,38	1,42	1,36	1,43	1,41

К настоящему времени предполагается постоянство коэффициента перехода радионуклидов в элементы надземной части фитомассы древесных растений с тенденцией к снижению, связанной с уменьшением их биологической доступности, миграцией радионуклидов за пределы корнеобитаемого слоя и радиоактивным распадом.

У одновозрастных (5–6-летних) растений различных видов максимальное количество (до 80%) поступающего цезия-137, как правило, концентрируется в их наземных частях, главным образом в фитомассе хвоя (листьев) до 40%. Уровень загрязнения древесины основных лесобразующих пород зависит от почвенно-гидрологических условий. На процесс накопления радионуклидов оказывают влияние плодородия и водный режим почв (табл. 2). Чем меньше плодородие почвы, тем больше древесина накапливает радионуклидов и, соответственно, на влажных почвах процесс накопления идет интенсивнее, чем на сухих.

Необходимо отметить, что прямая зависимость между поступлением в древесные растения из почвы цезия-137 и содержанием его в почве справедлива для всех типов лесов. При оптимальных погодных условиях наиболее активно цезий-137 поступает из почвы в органы растений сосны в сосняке черничном, что связано с умеренным увлажнением. Засушливый веге-

тационный период способствует более активной аккумуляции цезия-137 сосной обыкновенной на гидроморфных и полугидроморфных почвах, а на автоморфных наблюдается некоторое снижение поступления радионуклида в растения.

Таблица 2

**Коэффициент перехода цезия-137
в древесину некоторых пород**

Наименование	Годы исследования				
	2002	2003	2004	2005	2006
Береза*	1,27	1,68	1,39	1,42	1,29
Ольха*	1,91	2,12	1,86	1,89	1,65
Осина*	1,95	2,19	1,99	1,91	1,77
Сосна**	1,56	1,46	1,38	1,34	1,26

* На гидроморфных почвах.

** На автоморфных почвах.

Результаты исследований показали, что поглощение и накопление цезия-137 древесными растениями изменяются в широких пределах в зависимости от их видовой принадлежности (до 15 раз), условий местопроизрастания (до 3 раз), уровня радиоактивного загрязнения (на порядок выше), погодных условий (2–3 раза). Наибольшая часть поступающего в древесные растения из почвы корневым путем цезия-137 накапливается в их наземной части (до 90%). В целом деревья, произрастающие в условиях повышенного увлажнения гидроморфных почв, накапливают цезий-137 в 2–7 раз больше, чем на автоморфных почвах. Это объясняется тем, что в гидроморфных почвах практически все формы цезия-137 являются доступными для растений.

Наиболее высокие коэффициенты накопления среди лиственных пород характерны для осины и ольхи. Минимальная аккумуляция этого элемента отмечена у сосны.

Многолетняя динамика накопления цезия-137 зависит от ландшафтных особенностей.

Распределение цезия-137 и стронция-90 в древесных растениях при корневом поступлении в целом повторяет распределение их неизотопных макроаналогов – калия и кальция. Цезий-137, как и калий, накапливается в физиологически активных органах и тканях – в хвое (листьях) и побегах текущего года, в наружных частях камбия, стронций-90 аккумулируется в клеточных стенках органов с низкой метаболической активностью – в ядровой части древесины, коре, хвое прошлого года формирования [4].

Начиная с середины 90-х гг., по мере стабилизации перехода цезия-137 из почвы в растения, ранжированный ряд элементов фитомассы по величине удельной активности имеет следующий вид: хвоя текущего года (листья) и однолетние побеги > хвоя прошлогодняя > сучья с корой > кора ствола > древесина ствола. При этом различия между минимально и макси-

мально накапливающими органами достигает 15-кратной величины по цезию-137 [5].

Зависимость удельной активности древесины и коры различных пород от плотности загрязнения приведены на рисунке.

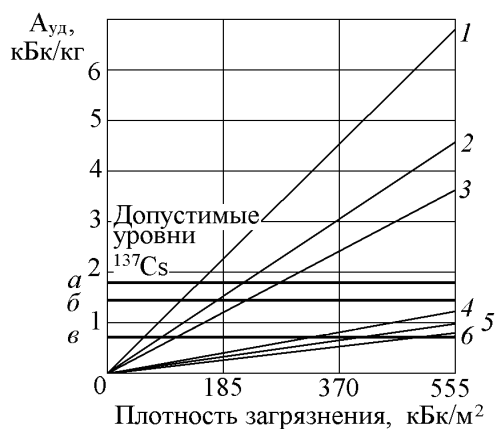


Рисунок. Зависимость удельной активности древесины и коры (кБк/кг) различных пород от плотности загрязнения:

- а* – в пилопродукции (1,85);
- б* – в лесоматериалах круглых (1,48);
- в* – в изделиях из древесины (0,74);
- 1 – кора березы; 2 – кора осины; 3 – кора сосны;
- 4 – древесина осины; 5 – древесина сосны;
- 6 – древесина березы

Долевой вклад коры в массу неокоренного образца относительно невелик (менее 20%) и у древесных пород несколько отличается. Наиболее высок он у березы и дуба (до 20%), несколько меньше у осины, ели, ольхи, а минимален у сосны (менее 10%). Коре свойственно значительно большее накопление радионуклидов по сравнению с окоренной древесиной. Поэтому именно кора определяет удельную активность в неокоренной древесине большинства древесных пород. Наибольший вклад в загрязненность неокоренной древесины дает кора березы. Прямо противоположная ситуация отмечается у сосны, у которой загрязненность определяется исключительно древесиной.

Заключение. Установление количественных параметров накопления радионуклидов элементами наземной фитомассы древесных растений на отдаленном этапе после аварии имеет важное значение для ведения лесного хозяйства на загрязненных радионуклидами территориях. В частности, данные по уровням накопления радионуклидов элементами фитомассы древесных пород в зависимости от различных факторов могут стать основой для оптимизации главного и промежуточного пользования. Исходя из многолетней динамики накопления радионуклидов древесными растениями, можно спрогнозировать загрязненность хозяйственно ценных пород на ближайшую и отдаленную перспективы.

Литература

1. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В. А. Ипатьев [и др.]; под ред. В. А. Ипатьева. – Гомель: ИЛ НАНБ, 1999. – 454 с.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000): ГН 2.6.1.8-127-2000. – Минск: РЦГЭ Минздрава Республики Беларусь, 2000. – 115 с.
3. Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения: текст по состоянию на 27.03.2001. – Минск: РНИУП «Институт радиологии», 2002. – 95 с.
4. Перволюцкий, А. Н. Влияние эдафических факторов на коэффициент перехода цезия-137 в древесину сосны и ели / А. Н. Перволюцкий, И. М. Булавик // Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–6 дек. 2002 г.: в 2 ч. – Минск, 2002. – Ч. 2. – С. 77–80.
5. Перволюцкий, А. Н. Распределение ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в лесных биогеоценозах / А. Н. Перволюцкий. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. – 255 с.