

В массивном образце включения алюминия достигают 3 мкм и располагаются преимущественно по границам зерен олова, средний размер которых 15 мкм. В быстрозатвердевших фольгах размер включений алюминия не превышает 0,5 мкм, и они располагаются как по границам, так и в объеме зерна. На рис. 3 приведены микроструктура и распределение алюминия и олова по линии сканирования.

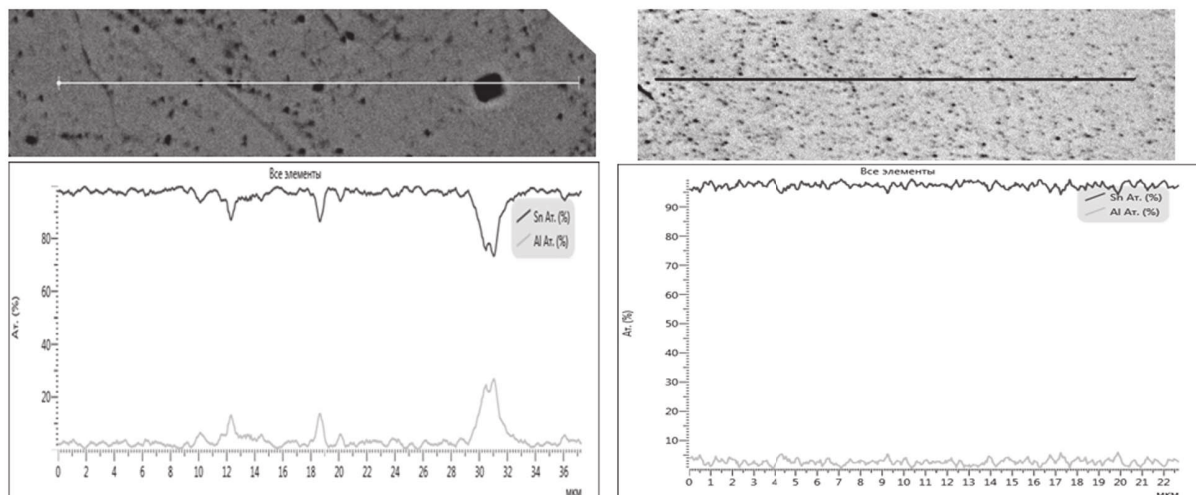


Рисунок 3 – Микроструктура и распределение элементов в массивном образце (а), полученном при скорости охлаждения расплава 10^2 К/с в фольгах (б), полученных при скорости охлаждения расплава 10^2 К/с эвтектики Al–Sn.

Таким образом, кристаллизация эвтектического сплава системы Al–Sn методом сверхбыстрой закалки из расплава, при скорости охлаждения расплава 10^5 К/с приводит к формированию дисперсной частиц алюминия, размер которых не превышает 500 нм равномерно распределенных по объему зерна и на его границах, в отличие от образцов, полученных при скорости охлаждения расплава 10^2 К/с, в которых размер включений Al достигает 3 мкм. Быстрозатвердевшие фольги характеризуются вытянутой в направлении растекания расплава формой зерен в отличие от массивных образцов с равноосными зёрнами. Фольги сплавов заэвтектического состава характеризуются ярко выраженной слоистостью микроструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Md Ershadul Alam Development of extremely ductile lead-free Sn–Al solders for futuristic electronic packaging applications / Md Ershadul Alam, Manoj Gupta // *Electronic Materials Letters*. – 2014. – Vol. 10 I. 2. – P. 515–524.
2. Гусакова, О. В. Структура и свойства быстрозатвердевших фольг сплавов системы Sn – Zn – Bi / О. В. Гусакова, В. Г. Шепелевич // *Перспективные материалы*. – 2010. – № 2. – С. 74–80.

РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЛЕСНОЙ ПРОДУКЦИИ RADIATION FOREST PRODUCT CONTROL

А. В. Домненкова¹, Л. Н. Карбанович²
A. Domnenkova¹, L. Karbanovich²

¹Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Государственное учреждение по защите и мониторингу леса «Беллесозащита»,
г. Минск, Республика Беларусь
adomnenkova@gmail.com

¹Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

²State institution for the protection and monitoring of forests «Bellesozashita»,
Minsk, Republic of Belarus

Радиационная обстановка в лесном хозяйстве Республики Беларусь ежегодно контролируется на всех лесохозяйственных объектах в зонах радиоактивного загрязнения. Основным фактором, ограничивающим лесопользование в Республике Беларусь, является превышение республиканских допустимых уровней содержания радионуклидов в лесной продукции. Ежегодно в лесах Беларуси проводится радиационный контроль заготавливаемой и реализуемой лесной продукции: древесины и изделий из нее, березового сока, грибов, ягод, меда.

The radiation situation in the forestry of the Republic of Belarus is annually monitored at all objects in the areas of radioactive contamination. The main factor limiting forest use is the excess of republican permissible levels of radionuclides in forest products. Belarusian forestry enterprises annually conduct radiation monitoring of harvested forest products: wood and wood products, birch sap, mushrooms, berries, honey.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, радиационный контроль, лесная продукция.

Keywords: radioactive contamination, radiation monitoring, forest products.

В результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции значительная часть (более 20 %) лесного фонда Республики Беларусь подверглась радиоактивному загрязнению. Леса прочно удерживают выпавшие радионуклиды, препятствуют выносу их за пределы территорий.

Загрязненный лесной фонд является источником радиационной опасности для населения.

В табл. 1 представлено распределение территории лесного фонда Республики Беларусь по зонам радиоактивного загрязнения на 01.01.2018 г.

Таблица 1 – Распределение территории лесного фонда Республики Беларусь по зонам радиоактивного загрязнения

N	Наименование организации	Общая площадь, тыс. га	Всего загрязнено тыс. га, (%)	Площадь радиоактивного загрязнения, тыс. га, (%)			
				I зона	II зона	III зона	IV зона
				1–5 Ки/км ²	5–15 Ки/км ²	15–40 Ки/км ²	40 и более Ки/км ²
1	Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь	8417,0	1356,3 (16,1)	948,7 (11,3)	290,0 (3,4)	116,6 (1,4)	1,0 (<0,1)
2	Управление делами Президента Республики Беларусь (ГНУ «НП Припятский», ГЛХУ «Красносельское»)	757,2	59,6 (7,9)	59,6 (7,9)			
3	Министерство обороны Республики Беларусь	89,7	0	0	0	0	0
4	Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (ПГРЭС)	216,1	216,1 (100)	43,2 (20,0)	95,0 (44,0)	51,9 (24,0)	26,0 (12,0)
5	Национальная академия наук Беларуси	41,5	0	0	0	0	0
6	Исполкомы	14,9	0	0	0	0	0
7	Министерство образования Республики Беларусь	27,5	0	0	0	0	0
Всего:		9563,9	1632,0 (17,1)	1051,5 (11,0)	385,0 (4,0)	168,5 (1,8)	27,0 (0,3)

Лесная продукция заготавливаемая в зонах радиоактивного загрязнения представляет основную опасность. В работе представлены результаты измерения активности лесной продукции, заготовленной на загрязненных территориях в 2018 г., в сравнительной характеристике с республиканскими допустимыми уровнями содержания радионуклидов в продукции [3; 4].

Для рационального использования природных ресурсов 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. В зависимости от уровня радиоактивного загрязнения, предусмотрен большой объем мероприятий, направленных на обеспечение радиационной безопасности работников леса и населения, пользующегося продукцией леса [2].

Комплекс защитных мероприятий обеспечивающих радиационную безопасность населения, включает шесть групп:

1) организационно-технические – организация системы радиационного контроля земель лесного фонда, мониторинг радиационной обстановки в лесном фонде, контроль содержания радионуклидов в лесных ресурсах.

Радиационный мониторинг лесного фонда осуществляется на постоянных пунктах наблюдения, которые образуют первичную сеть радиационного мониторинга леса.

Объектами радиационного мониторинга являются лесная подстилка, почва, растения и их части, грибы, ягоды. Контролируемыми параметрами являются мощность дозы гамма-излучения, активность цезия в объектах радиационного мониторинга леса. Основными задачами радиационного мониторинга леса являются изучение динамики и факторов, влияющих на накопление цезия-137 в контролируемых объектах.

2) технологические защитные мероприятия включают малолюдные технологии, соблюдение сезонности при производстве лесохозяйственных работ, их механизация, охрана лесов от пожаров. Эти меры требуют дополнительных финансовых затрат. Это обусловлено тем, что работники, привлекаемые к работам в зонах радиоактивного загрязнения, должны пройти обучение по правилам радиационной безопасности, использования средств ин-

индивидуальной защиты и личной гигиены, все работающие обеспечиваются средствами индивидуальной защиты и индивидуальными дозиметрами, иметь медицинское заключение о допуске по состоянию здоровья к работе [2].

3) ограничительные мероприятия включают нормирование содержания радионуклидов в лесных ресурсах, ограничение доступа населения в загрязненные леса, ограничение времени работы в зонах с повышенным радиационным фоном для снижения дозовых нагрузок.

Нормирование содержания радионуклидов в лесных ресурсах осуществляется в соответствии РДУ/ЛХ-2001 [4] и РДУ-99 [3].

Нормирование содержания радионуклидов в древесном сырье и пищевой продукции леса дает эффект снижения доз облучения, не требуют дополнительных затрат, но ограничительные мероприятия приводят к экономическим потерям за счет сокращения объемов использования лесных ресурсов.

4) информационные мероприятия включают научные исследования, подготовку и повышение квалификации специалистов лесного хозяйства, постоянное информирование населения через СМИ о радиационной обстановке в лесном фонде и возможности использования лесной продукции.

5) социально-экономические мероприятия включают охрану труда, производственную санитарную, улучшение качества жизни и медико-санитарное обслуживание работающих;

6) предупредительные защитные мероприятия включают зонирование территорий вокруг АЭС и других радиационно-опасных объектов.

В связи с высоким уровнем остаточного радиоактивного загрязнения значительных территорий Республики Беларусь после аварии на ЧАЭС долгосрочный прогноз радиоактивного загрязнения лесной продукции, вносящей вклад в дозу внутреннего облучения населения, проживающего на этих территориях, является актуальной задачей.

Служба радиационного контроля проводит ежегодное уточнение радиационной обстановки на территории лесного фонда Министерства лесного хозяйства (Минлесхоза) Республики Беларусь.

В 2018 г. Службой проведено радиационное обследование земель на площади 100,6 тыс. га в 1264 лесных кварталах 37 лесхозов 5 государственных производственных лесохозяйственных объединений. По результатам обследования территория радиоактивного загрязнения лесного фонда Минлесхоза уменьшилась на 40,8 тыс. га и составляет на 01.01.2019 г. 1315,5 тыс. га или 15,6 % от общей. Наибольшая часть (69,95 %) территорий радиоактивного загрязнения лесного фонда отнесена к I зоне с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 1 до 5 Ки/км², 21,77 % – II зоне (5–15 Ки/км²), 8,21 % – к III зоне (15–40 Ки/км²). К IV зоне (40 Ки/км² и более) отнесена площадь лесного фонда 0,9 тыс. га.

В 44 лесхозах (214 лесничествах) территории лесного фонда отнесены к зонам радиоактивного загрязнения [1; 2].

В настоящее время основным фактором, ограничивающим лесопользование, является превышение республиканских допустимых уровней содержания радионуклидов в лесной продукции (РДУ/ЛХ-2001, РДУ-99), а также требований, установленных потребителями древесного топлива, производителями изделий из древесины, реализуемых в странах ЕАЭС (Таможенного союза) [2–5].

Система контроля радиоактивного загрязнения лесного фонда включает две подсистемы: радиационный контроль и радиационный мониторинг. Контроль радиоактивного загрязнения в лесах осуществляет служба радиационного контроля Минлесхоза, включающая 39 аккредитованных и аттестованных структурных подразделений (отделы, лаборатории, посты), которые выполняли весь комплекс работ в 45 лесхозах отрасли.

Объектами радиационного контроля являются: земли лесного фонда, участки лесного фонда и лесные ресурсы, лесная продукция и продукты ее переработки, объекты лесного хозяйства и рабочие места, сельскохозяйственное сырье и корма, пищевые продукты, лекарственно-техническое сырье.

Ежегодно в лесхозах проводится радиационный контроль заготавливаемой и реализуемой лесной продукции, в первую очередь древесины и изделий из нее, а также пищевой продукции леса – березового сока, грибов, ягод, меда. Всего в 2018 г. измерено 39 953 (2017 г. – 44 569) проб, в том числе 37 324 пробы лесной продукции (93,4 %) (в 2017 г. 41 400, в 2016 – 42 489), 1493 – почвы, 870 – прочих.

В общем объеме контролируемой лесной продукции древесина и изделия из нее составляют 89,3 % (33 325 проб), в том числе: 30 822 пробы деловой древесины и дров, 1927 – пиломатериалов. Измерено содержание радионуклида цезий-137 в пищевой продукции леса: 1561 пробе грибов), 897 – ягод, 410 – мяса охотничьих животных, 586 – березового сока.

Основной объем контролируемой лесной продукции – древесины, отобранной на лесосеках – приходится на лесхозы Гомельского и Могилевского ГПЛХО (89,8 %), в которых отмечены случаи превышения допустимых уровней содержания цезия-137 в деловой древесине (1480 Бк/кг) – 1,0 и 0,1 %, дровах (740 Бк/кг) – 5,53 и 0,9 % соответственно.

Доля контролируемых проб лесной продукции, превышающих допустимые уровни содержания цезия-137, уменьшилась для большинства видов, осталась на прежнем уровне для ягод черники, дикорастущих грибов, дичи мясной продукции. Радиационный контроль ягод и грибов проводится на территориях в I зоне (1–5 Ки/км²), рекомендованной для их сбора [2]. Содержание цезия-137 в грибах, собранных при плотности более 5 Ки/км², в большинстве случаев (до 80 %), превышает допустимый уровень (370 Бк/кг), при максимальном превышении в 62 раза (22828 Бк/кг) [3; 4].

Значительный процент проб (до 40 %) с превышением РДУ-99 в дикорастущих ягодах и грибах остается практически неизменным на протяжении многих лет, что связано со стабильно высоким удельным весом цезия-137 в лесной подстилке и верхних минеральных слоях почвы (до 70 % от общего запаса цезия-137 в лесной почве) [3].

Удельный вес лесной продукции с превышением допустимых уровней содержания цезия-137 за 2012–2018 гг. представлен в табл. 2.

Таблица 2 – Удельный вес лесной продукции с превышением допустимых уровней содержания цезия-137 за 2012–2018 гг. [3–5]

Наименование лесной продукции, продукции охоты	Удельный вес лесной продукции с превышением допустимых уровней содержания цезия-137, %						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Деловая древесина	0,7	1,3	1,4	2,0	1,0	1,0	0,6
Дрова	2,3	3,2	3,6	5,9	4,5	4,9	3,5
Второстепенные лесные ресурсы							
Новогодние деревья	2	2	1	0,9	0,5	0	0
Продукция побочного лесопользования							
Клюква	18	29	22	22,5	28	41,5	16,9
Черника	26	29	28	39,8	30,6	30,7	30,0
Грибы	46	47	46	41,9	36,3	45,9	43,8
Лектехсырье	23	31	19	7,2	20	9,3	14,3
Продукция охоты							
Мясо охотничьих животных	19	28	33	6,9	4,7	3,4	5,4

Наибольшие значения удельной активности цезия-137 и доля проб, превышающих допустимые уровни РДУ-99, установлены для этих видов продукции на всей территории лесного фонда с плотностью загрязнения 1 Ки/км² и более. Сравнение средних по областям и максимальных уровней содержания цезия-137 в дикорастущих грибах показывает, что эти показатели остаются самыми высокими в лесхозах Гомельского (690 Бк/кг – среднее и 12 336 Бк/кг – максимальное) и Брестского ГПЛХО (1605 Бк/кг и 27 563 Бк/кг). Максимальные уровни содержания цезия-137 в ягодах черники не превысили 1838 Бк/кг, клюквы – 436 Бк/кг.

Одним из видов контролируемой продукции является продукция охоты – мясо охотничьих животных, добытых в лесохозяйственных хозяйствах с территориями охотничьих угодий в зонах радиоактивного загрязнения. Содержание цезия-137 в мясе охотничьих животных зависит от вида, особенностей рациона питания, среды обитания. Как правило, в наибольшей степени загрязнено цезием-137 мясо дикого кабана, в наименьшей – лося, косули. За период наблюдений не установлено превышений допустимого уровня содержания цезия-137 в мясе оленя, в мясе зайца доля проб с превышением 500 Бк/кг составила 1,9 % за семь лет (8 проб из 414 измеренных).

К самым «чистым» лесным пищевым продуктам относится березовый сок – со средним содержанием радионуклида цезия-137 менее 14 Бк/кг при норме 370 Бк/кг. В 2017–2018 гг. содержание цезия-137 в меде контролировалось в 2 лесхозах Брестского, 7 – Гомельского, 6 – Могилевского и 2 – Минского ГПЛХО. Содержание цезия-137 в меде, заготовленном на пчелопасеках лесхозов, не превышало допустимый уровень в 3700 Бк/кг, среднее значение – 50 Бк/кг.

Сравнение измеренных значений удельной активности цезия-137 в лесной продукции с установленными в республике допустимыми уровнями в течение последних лет показывает, что доля проб деловой древесины с превышением этих уровней не превысила 2 %, дров – 6 %, в дикорастущих ягодах и грибах находится в пределах 18–41 % и 35–45 % соответственно.

Для долгосрочного прогноза поведения радионуклидов в лесных экосистемах необходимо знать динамику снижения активности лесных почв в зависимости от времени и других факторов, от которых может зависеть активность лесной продукции. Результаты исследования радиационной обстановки за 2005–2018 гг. показали уменьшение площади в среднем на 2,0 % в год, которое обусловлено уменьшением плотности загрязнения почв цезием-137. Согласно прогнозу на 2046 г., площадь территорий Беларуси с плотностью радиоактивного загрязнения более 37 кБк/м² составит 829,3 тыс. га. В зону радиоактивного загрязнения территории по-прежнему будет попадать большая площадь лесных массивов, следовательно, проблема повышенного содержания цезия-137 в лесной продукции будет актуальна и в 2046 г.

Рекомендован обязательный радиационный контроль лесной продукции, заготовленной на загрязненных территориях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карбанович, Л. Н. Радиационная обстановка с лесом фонде / Л. Н. Карбанович // Лесное и охотничье хозяйство. – 2016. – Вып. IV. – С. 12–14.
2. Правила ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС. – Минск, 2016. – 16 с.

3. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99): ГН 10-117-99. – Минск, 1999. – 4 с.
4. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей пищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001): ГН 2.6.1.10-1-01-2001. – Минск, 2001. – 7 с.
5. Республиканский допустимый уровень содержания цезия-137 в лекарственно-техническом сырье (РДУ/ЛТС-2004): ГН 2.6.1.8-10-2004. – Минск, 2004. – 2 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩХ ИЗЛУЧЕНИЙ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

SIMULATION OF CHARACTERISTICS OF DETECTORS OF IONIZING RADIATION BY THE MONTE-CARLO METHOD

А. И. Дубровский¹, В. А. Береснева²
A. Dubrovskiy¹, V. Beresneva²

¹*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь*

²*Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны Национальной
академии наук Беларуси, г. Минский район, Республика Беларусь
a1dubrovskii@gmail.com*

¹*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

²*Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk region, Republic of Belarus*

В свете развития информационных технологий во всем мире широкое применение находят неаналитические численные методы расчета с использованием мощных вычислительных систем. В частности, весьма эффективным сегодня представляется использование метода Монте-Карло для моделирования переноса ионизирующих излучений и радиационных взаимодействий.

In the state of progressive extension of information technologies around the world, non-analytic methods of calculation are widely used by means of powerful computer systems. In particular, it is very effective today to use the Monte Carlo method to simulate the transport of ionizing radiations and radiation interactions.

Ключевые слова: метод Монте-Карло, моделирование, ионизирующее излучение.

Keywords: Monte-Carlo method, modeling, ionizing radiation.

Современные компьютеры и вычислительные системы сегодня, как правило, обладают достаточным количеством ресурсов для решения сложных и трудоемких задач путем моделирования случайных процессов. Это особенно актуально в сфере ядерной индустрии, когда постановка реального эксперимента является дорогостоящей и трудноосуществимой физически. В частности, разработка приборов радиационного контроля – это сложный и наукоемкий процесс, который может быть в значительной степени упрощен использованием Монте-Карло кодов, с целью детального исследования взаимодействия ионизирующих излучений с детектирующими материалами.

Грамотная реализация модельного эксперимента позволяет быстро подобрать материал детектора, его объем, форму, вспомогательные конструктивы и их геометрические параметры так, чтобы в результате сборки характеристики будущего дозиметрического и/или спектрометрического прибора полностью соответствовали предъявляемым к нему требованиям. Иными словами, путем несложных экспресс-расчетов можно быстро и эффективно определить некоторые характеристики детектора еще на стадии планирования прибора радиационного контроля, что значительно упрощает и удешевляет процесс его разработки.

На сегодняшний день среди наиболее популярных Монте-Карло кодов можно выделить MCNP и GEANT4 [1]. Каждый из них имеет ряд преимуществ и недостатков, а также свою специфику написания модели (ее геометрию и физическую составляющую). Кроме того, существуют разные типы задач, связанных с регистрацией ионизирующих излучений, которые с большей или меньшей степенью точности могут быть решены при помощи MCNP и GEANT4. Поэтому для обсчета детектора, который предположительно ляжет в основу прибора, следует отдать предпочтение тому Монте-Карло коду, который может лучше справиться с поставленной задачей.

Была разработана модель детектора гамма-излучения, которая представляет собой цилиндрический кристалл иодида натрия 40×40 мм в алюминиевой оболочке толщиной 1 мм.