



# Оценка уровней миграции токсичных элементов из отечественных пилотных полилактидных материалов в модельные среды, имитирующие пищевые продукты

Кузовкова А.А., Велентей Ю.Н., Плешкова А.А.

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены», г. Минск, Республика Беларусь



**Актуальность.** Для целей устойчивого развития общества, для зеленой экономики необходимы новые биodeградируемые упаковочные материалы для пищевых продуктов, которые помогут избежать проблемы засорения окружающей среды пластиковым мусором. Полилактид (ПЛ), получаемый из стереоизомеров молочной кислоты, считается наиболее перспективным биodeградируемым полимером. ПЛ, как правило, не используют в чистом виде, а проводят модификацию различными способами, например, применяют в качестве основы для биоразлагаемых композиционных материалов. В качестве добавок используют химические вещества (например, диоксид кремния, карбид кальция), природные минеральные полимеры на основе кремния, алюминия и магния (каолин и тальк) или полимеры растительного происхождения (например, лигнин, целлюлоза, крахмал, древесные опилки). Причем массовая концентрация наполнителей в конечном композиционном материале может достигать 100 % от массовой концентрации полилактида (50:50). Очевидно, что подобные биоразлагаемые композиционные материалы требуют обязательного санитарно-гигиенического контроля по миграции из них токсичных веществ и элементов.

**Цель** — исследовать уровни миграции токсичных элементов из отечественных пленочных ПЛ-материалов в модельные среды, имитирующие пищевые продукты.

**Объекты исследований** — ПЛ-материал в виде пленки толщиной 90 мкм (без добавок), композиционный ПЛ-материал в виде пленки толщиной 90 мкм с 1 % лигнина, композиционный ПЛ-материал в виде пленки толщиной 200 мкм с 5 % лигнина, разработанные ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларуси».

**Предмет исследований** — уровни миграции токсичных элементов из ПЛ-материала в модельные среды при комнатной температуре: дистиллированную воду; 0,3% раствор молочной кислоты; 3% раствор молочной кислоты; 2% раствор лимонной кислоты; 20% раствор этилового спирта после экспозиции в течение 1 сут.

**Методы исследования.** Фрагмент ПЛ-материала в виде пленок размером 5×10 см (с учетом площади обеих поверхностей итоговая площадь составила 100 см<sup>2</sup>) помещали в плотно закрывающийся стеклянный бокс и заливали модельным раствором из расчета на 2 см<sup>2</sup> поверхности 1 см<sup>3</sup> модельного раствора (50 см<sup>3</sup>). Концентрации токсичных элементов в модельных вытяжках из ПЛ-материалов, за исключением ртути, проводили методом оптической атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. Концентрацию ртути в модельных вытяжках из ПЛ-материалов определяли методом беспламенной атомно-абсорбционной спектроскопии.

**Оценочными параметрами** служили нормативы ТР ТС 005/2011 по уровням миграции токсичных элементов и веществ, выделяющихся из биоразлагаемой (бумага, бумага парафинированная, картон, картон мелованный, картон макулатурный, пергамент растительный, подпергамент (бумага с добавками, имитирующими свойства пергамента растительного)) и небiorазлагаемой упаковки (поливинилхлоридные пластики, стекло, фаянс, фарфор, металл), контактирующей с пищевыми продуктами, а также уровни миграции ртути и селена, оцениваемые в биоразлагаемой упаковке согласно ГОСТ 34030.1-2016 и ГОСТ EN 13432-2015. Полученные результаты исследований представлены в таблицах 1-5.

**Вывод:** все исследуемые химические элементы, за исключением мышьяка, при комнатной температуре мигрируют из отечественных ПЛ-материалов в выбранные модельные среды после экспозиции в течение 1 сут на уровнях ниже нормативов, установленных в ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки». Уровень миграции мышьяка из ПЛ-материала без добавок в 20% раствор этилового спирта составил 0,177±0,046 мг/дм<sup>3</sup>, что выше установленного норматива 0,05 мг/дм<sup>3</sup>.

Исследования выполнены в рамках НИР «Изучить санитарно-химические показатели гигиенической безопасности образцов отечественных биоразлагаемых материалов на основе полилактидов на этапе разработки технологий их производства». ГПНИ 2 «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» (подпрограмма «Лесохимия-2»).

Таблица 1 – Уровни миграции токсичных элементов из ПЛ-материалов в дистиллированную воду в течение 1 сут контакта (моделирование контакта пищевых продуктов с ПЛ-материалами до 2 ч)

Модельная среда / условия моделирования	Токсичный элемент	Уровни миграции (мг/дм <sup>3</sup> ) из			Требования ТР ТС 005/2011, ДКМ, мг/дм <sup>3</sup>	Соответствие нормативу
		ПЛ-материала без добавок	ПЛ-материала с 1% лигнина	ПЛ-материала с 5% лигнина		
Дистиллированная вода / 2 см <sup>2</sup> / 1 см <sup>3</sup> , 1 сут, комнатная температура	Свинец	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,03	соответствуют
	Мышьак	менее 0,005	менее 0,005	менее 0,005	0,05	соответствуют
	Ртуть (мкг/кг)	3,68±1,47	менее 2,5	менее 2,5	—	—
	Кадмий	менее 0,0001	менее 0,0001	менее 0,0001	0,001	соответствуют
	Хром	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,1	соответствуют
	Барий	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,1	соответствуют
	Селен	менее 0,005	менее 0,005	менее 0,005	—	—
	Цинк	менее 0,05	менее 0,05	0,065±0,016	1,0	соответствуют
	Олово	менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5	2,0	соответствуют
	Медь	менее 0,001	менее 0,001	0,0010±0,0004	1,0	соответствуют
	Никель	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,1	соответствуют
	Титан	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,1	соответствуют
	Алюминий	0,052±0,012	менее 0,05	менее 0,05	0,5	соответствуют
	Железо	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,3	соответствуют
	Марганец	менее 0,001	менее 0,001	менее 0,001	0,1	соответствуют
Молибден	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,25	соответствуют	

Таблица 2 – Уровни миграции токсичных элементов из ПЛ-материалов в 0,3% раствор молочной кислоты в течение 1 сут контакта (моделирование контакта пищевых продуктов с ПЛ-материалами до 2 ч)

Модельная среда / условия моделирования	Токсичный элемент	Уровни миграции (мг/дм <sup>3</sup> ) из			Требования ТР ТС 005/2011, ДКМ, мг/дм <sup>3</sup>	Соответствие нормативу
		ПЛ-материала без добавок	ПЛ-материала с 1% лигнина	ПЛ-материала с 5% лигнина		
0,3% раствор молочной кислоты / 2 см <sup>2</sup> / 1 см <sup>3</sup> , 1 сут, комнатная температура	Свинец	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,03	соответствуют
	Мышьак	менее 0,005	менее 0,005	менее 0,005	0,05	соответствуют
	Ртуть (мкг/кг)	менее 2,5	менее 2,5	менее 2,5	—	—
	Кадмий	менее 0,0001	менее 0,0001	менее 0,0001	0,001	соответствуют
	Хром	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,1	соответствуют
	Барий	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,1	соответствуют
	Селен	менее 0,005	менее 0,005	менее 0,005	—	—
	Цинк	менее 0,05	0,095±0,023	0,088±0,021	1,0	соответствуют
	Олово	менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5	2,0	соответствуют
	Медь	менее 0,001	0,005±0,002	0,004±0,001	1,0	соответствуют
	Никель	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,1	соответствуют
	Титан	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,1	соответствуют
	Алюминий	менее 0,05	менее 0,05	0,087±0,021	0,5	соответствуют
	Железо	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,3	соответствуют
	Марганец	0,0020±0,0006	менее 0,001	менее 0,001	0,1	соответствуют
Молибден	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,25	соответствуют	

Таблица 3 – Уровни миграции токсичных элементов из ПЛ-материалов в 3,0% раствор молочной кислоты в течение 1 сут контакта (моделирование контакта пищевых продуктов с ПЛ-материалами до 2 ч)

Модельная среда / условия моделирования	Токсичный элемент	Уровни миграции (мг/дм <sup>3</sup> ) из			Требования ТР ТС 005/2011, ДКМ, мг/дм <sup>3</sup>	Соответствие нормативу
		ПЛ-материала без добавок	ПЛ-материала с 1% лигнина	ПЛ-материала с 5% лигнина		
3,0% раствор молочной кислоты / 2 см <sup>2</sup> / 1 см <sup>3</sup> , 1 сут, комнатная температура	Свинец	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,03	соответствуют
	Мышьак	0,014±0,005	менее 0,005	менее 0,005	0,05	соответствуют
	Ртуть (мкг/кг)	менее 0,0001	менее 0,0001	менее 0,0001	—	—
	Кадмий	менее 0,0001	менее 0,0001	менее 0,0001	0,001	соответствуют
	Хром	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,1	соответствуют
	Барий	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,1	соответствуют
	Селен	менее 0,005	менее 0,005	менее 0,005	—	—
	Цинк	менее 0,05	0,098±0,023	0,119±0,029	1,0	соответствуют
	Олово	менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5	2,0	соответствуют
	Медь	менее 0,001	0,008±0,003	0,005±0,002	1,0	соответствуют
	Никель	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,1	соответствуют
	Титан	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,1	соответствуют
	Алюминий	менее 0,05	менее 0,05	0,058±0,014	0,5	соответствуют
	Железо	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,3	соответствуют
	Марганец	менее 0,001	менее 0,001	менее 0,001	0,1	соответствуют
Молибден	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,25	соответствуют	

Таблица 4 – Уровни миграции токсичных элементов из ПЛ-материалов в 2,0% раствор лимонной кислоты в течение 1 сут контакта (моделирование контакта пищевых продуктов с ПЛ-материалами до 2 ч)

Модельная среда / условия моделирования	Токсичный элемент	Уровни миграции (мг/дм <sup>3</sup> ) из			Требования ТР ТС 005/2011, ДКМ, мг/дм <sup>3</sup>	Соответствие нормативу
		ПЛ-материала без добавок	ПЛ-материала с 1% лигнина	ПЛ-материала с 5% лигнина		
2,0% раствор лимонной кислоты / 2 см <sup>2</sup> / 1 см <sup>3</sup> , 1 сут, комнатная температура	Свинец	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,03	соответствуют
	Мышьак	0,010±0,004	менее 0,005	менее 0,005	0,05	соответствуют
	Ртуть (мкг/кг)	менее 0,0001	менее 0,0001	менее 0,0001	—	—
	Кадмий	менее 0,0001	менее 0,0001	менее 0,0001	0,001	соответствуют
	Хром	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,1	соответствуют
	Барий	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,1	соответствуют
	Селен	менее 0,005	менее 0,005	менее 0,005	—	—
	Цинк	менее 0,05	0,109±0,026	0,073±0,018	1,0	соответствуют
	Олово	менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5	2,0	соответствуют
	Медь	0,007±0,003	0,004±0,002	0,007±0,003	1,0	соответствуют
	Никель	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,1	соответствуют
	Титан	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,1	соответствуют
	Алюминий	0,051±0,012	менее 0,05	0,054±0,013	0,5	соответствуют
	Железо	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,3	соответствуют
	Марганец	менее 0,001	менее 0,001	менее 0,001	0,1	соответствуют
Молибден	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,25	соответствуют	

Таблица 5 – Уровни миграции токсичных элементов из ПЛ-материалов в 20% раствор этилового спирта в течение 1 сут контакта (моделирование контакта пищевых продуктов с ПЛ-материалами до 2 ч)

Модельная среда / условия моделирования	Токсичный элемент	Уровни миграции (мг/дм <sup>3</sup> ) из			Требования ТР ТС 005/2011, ДКМ, мг/дм <sup>3</sup>	Соответствие нормативу
		ПЛ-материала без добавок	ПЛ-материала с 1% лигнина	ПЛ-материала с 5% лигнина		
20% раствор этилового спирта / 2 см <sup>2</sup> / 1 см <sup>3</sup> , 1 сут, комнатная температура	Свинец	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,03	соответствуют
	Мышьак	0,177±0,046	менее 0,005	менее 0,005	0,05	не соответствует ПЛ-материал без добавок
	Ртуть (мкг/кг)	менее 0,0001	менее 0,0001	менее 0,0001	—	—
	Кадмий	менее 0,0001	менее 0,0001	менее 0,0001	0,001	соответствуют
	Хром	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	0,1	соответствуют
	Барий	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,1	соответствуют
	Селен	менее 0,005	менее 0,005	менее 0,005	—	—
	Цинк	менее 0,05	менее 0,05	0,073±0,017	1,0	соответствуют
	Олово	0,230±0,055	менее 0,5	менее 0,5	2,0	соответствуют
	Медь	менее 0,001	менее 0,001	менее 0,001	1,0	соответствуют
	Никель	0,012±0,004	менее 0,01	менее 0,01	0,1	соответствуют
	Титан	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,1	соответствуют
	Алюминий	0,197±0,047	менее 0,05	менее 0,05	0,5	соответствуют
	Железо	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,3	соответствуют
	Марганец	0,0020±0,0006	менее 0,001	менее 0,001	0,1	соответствуют
Молибден	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	0,25	соответствуют	