

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МНОГОСЛОЙНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ В ТЕЧЕНИЕ ОДНОГО ГОДА

*В. Т. Тарасюк<sup>а</sup>, А. А. Семкина<sup>а</sup>, В. И. Соловьева<sup>а</sup>, Д. Д. Федотова<sup>а</sup>,  
В. П. Филиппович<sup>а, 1</sup>, Н. Е. Строкова<sup>б</sup>, О. В. Баранов<sup>а</sup>,  
А. В. Проккопенко<sup>2, 2</sup>, П. А. Быстров<sup>д, е</sup>, С. Н. Пучков<sup>д</sup>*

<sup>а</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования,  
Видное, Россия

<sup>б</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

<sup>а</sup> Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН, Москва

<sup>2</sup> Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

<sup>д</sup> Московский радиотехнический институт РАН, Москва

<sup>е</sup> Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН, Москва

Работа посвящена исследованию многослойного пленочного материала полиамид/полиэтилен толщиной 80 мкм при его обработке электронным пучком на компактной установке радиационной стерилизации с местной биозащитой дозами от 3 до 18 кГр. Изучались изменения физико-механических и барьерных параметров полимерного материала, которые могут отразиться на сроках хранения сельскохозяйственной продукции.

This study examines the multilayered film material polyamide/polyethylene with a thickness of 80  $\mu\text{m}$  when it was processed by an electron beam on a compact radiation sterilization installation with the local biosecurity by doses from 3 to 18 kGy. The changes in physico-mechanical and barrier parameters of the polymer material, which can affect the shelf life of agricultural products, are studied.

PACS: 61.80.-x

### ВВЕДЕНИЕ

Для сохранения эффекта стерилизации и увеличения сроков хранения пищевых продуктов радиационную обработку проводят в упаковке. В основном используют многослойные пленочные материалы различного состава. Комбинируя несколько слоев различных полимеров, производитель получает возможность создавать пленочные материалы с заданными свойствами для каждого вида сельхозпродукции с учетом дыхательных процессов. При обработке пищевых продуктов электронами кроме уничтожения болезнетворных бактерий и вирусов могут происходить химические процессы. Например, при

---

<sup>1</sup>E-mail: vit\_fil1@rambler.ru

<sup>2</sup>E-mail: pav14@mail.ru

радиационной стерилизации в полимерах можно наблюдать процессы сшивки и деструкции [1–3]. Именно поэтому была поставлена задача — изучить влияние радиационной обработки на структуру многокомпонентного полимерного материала после облучения и при его хранении.

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования использовался полимерный упаковочный материал полиамид/полиэтилен (РА/РЕ) в соотношении 20:80, толщиной 80 мкм производства Дмитровского завода гибкой упаковки. Структурные группы данного полимерного материала представлены на рис. 1.

Радиационную обработку проводили в Центре радиационных технологий МРТИ РАН на компактной установке радиационной стерилизации с местной биозащитой с энергией ускоренных электронов 5 МэВ, мощностью пучка электронов 1,5 кВт. Для анализа изменений в химическом составе пленки использовался ИК-спектрометр ФСМ 1201 (Россия) со спектральным диапазоном 400–4000 см<sup>-1</sup> и разрешением 1 см<sup>-1</sup>. Образцы пленки помещали в опытную ячейку строго перпендикулярно световому потоку, и снимали спектр поглощения полимерного материала до и после облучения. Краевой угол смачивания изучали на приборе TRACKER. При измерении образец размером 5 × 3 см обезжиривается спиртом и устанавливается на подставку измерительной ячейки. Измерительную ячейку устанавливают на столик-держатель и включают лампу осветителя. С помощью микрошприца осторожно наносят каплю жидкости (1 мм<sup>3</sup>) на поверхность исследуемого образца. Затем происходит фиксирование прибором фотоснимка капли [4].

Образцы полимерной пленки РА/РЕ подвергались радиационному облучению при дозе от 3 до 18 кГр, облучение повторялось 10 раз. Контроль за поглощенными дозами велся с использованием стандартных дозиметрических пленок. Далее проводились исследования структуры образцов до, после облучения и после 1 года хранения, для этого снимали ИК-спектры в интервале 400–5000 см<sup>-1</sup>. Наиболее характерные частоты поглощения функциональных групп исследуемого полимерного материала представлены в работе [5]. Результаты интенсивности полос поглощения функциональных групп в полимерном материале при различной дозе облучения и после 1 года хранения показаны на рис. 2.

На рис. 2 видно, что при повышении доз облучения интенсивность полос поглощения не меняется в функциональных группах –COO– и –CH<sub>3</sub>, также зависимость остается и после 1 года хранения. Отмечается, что с увеличением доз облучения уменьшается количество –C–C– групп и после 1 года хранения оно становится еще меньше. Также на рис. 2 видно, что при увеличении доз незначительно уменьшается количество групп –C–C– (584 см<sup>-1</sup>), –NH– (3085 см<sup>-1</sup>). После 1 года хранения отмечается увеличение групп –NH– с увеличением доз облучения. Возможно, произошедшие процессы дегградации в

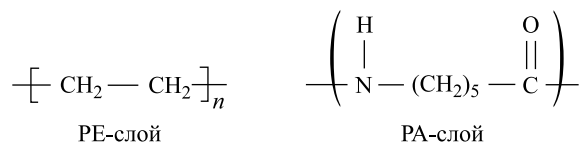


Рис. 1. Структурная формула полимерного материала РА/РЕ

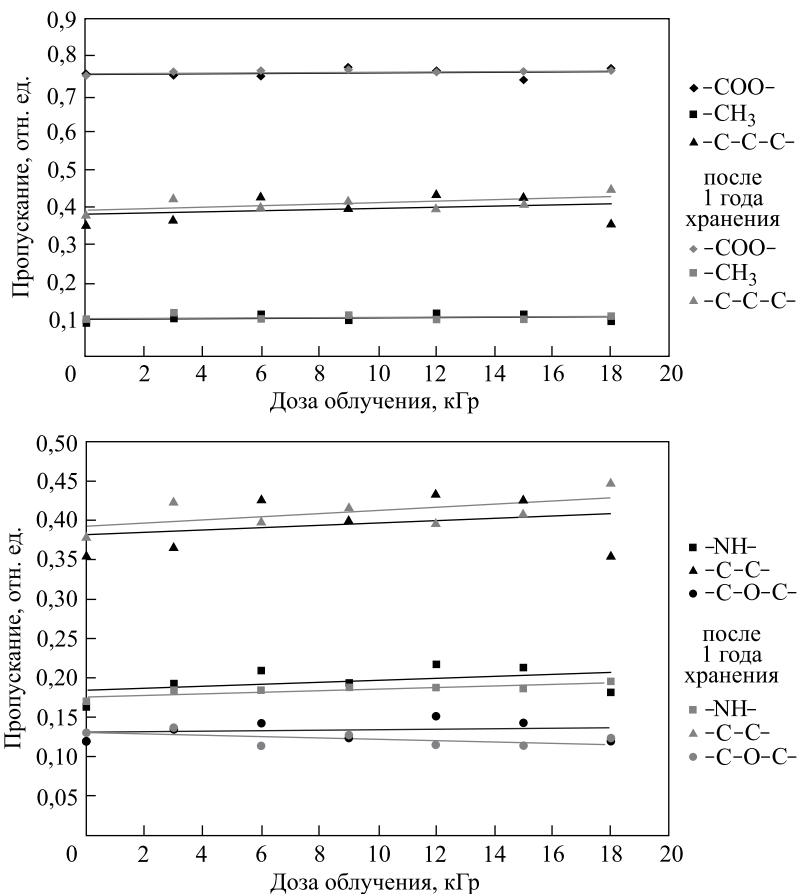


Рис. 2. Влияние доз облучения быстрыми электронами на интенсивность полос поглощения функциональных групп в образце PA/PE

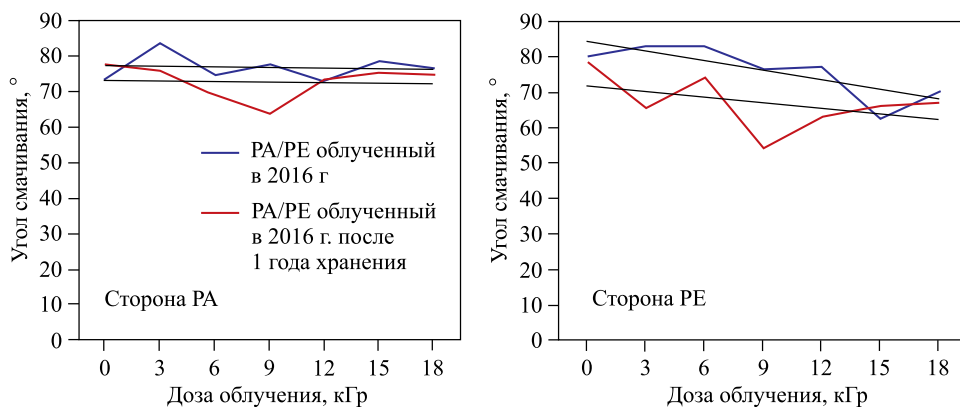


Рис. 3. Влияние доз облучения быстрыми электронами на параметр краевого угла смачивания в образце PA/PE

РА-слое по группе  $-\text{NH}-$  со временем остановились. После 1 года хранения отметили незначительное увеличение количества групп  $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$  ( $1257-1275 \text{ см}^{-1}$ ), которое после облучения в зависимости от дозы не менялись.

Увеличение количества функциональных групп с присутствием кислорода отражается на параметре — краевом угле смачивания (рис. 3). Видно, что со стороны РА-слоя он практически не зависит от доз облучения, после 1 года хранения краевой угол смачивания уменьшается на  $5^\circ$  (в пределах ошибки), но зависимость от дозы не изменяется. При изучении полимерной пленки со стороны РЕ наблюдается заметное уменьшение угла смачивания от  $80$  до  $70^\circ$  с ростом дозы. После хранения происходит уменьшение угла смачивания в РЕ-слое.

## ВЫВОДЫ

В работе изучена структура многослойного полимерного материала РА/РЕ методом ИК-спектроскопии при различных дозах облучения быстрыми электронами. Установлено, что при увеличении доз облучения отмечается деградация полимерного материала в РА-слое, в результате уменьшается число групп  $-\text{C}-\text{C}-$  и  $-\text{NH}-$ , но после 1 года хранения количество групп  $-\text{NH}-$  восстанавливается. Отмечено незначительное увеличение количества эфирных групп  $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$  после 1 года хранения, что повлияло на уменьшение краевого угла смачивания в РЕ-слое от  $80$  до  $67^\circ$ . Данные нарушения могут повлечь изменения физико-механических и барьерных параметров полимерного материала, что может существенно отразиться на сроках хранения сельскохозяйственной продукции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *McKeen L.* The Effect of Sterilization on Plastics and Elastomers. V. 3. Elsevier Inc., 2012.
2. *Gracheva A. Yu. et al.* Enhancement of Efficiency of Storage and Processing of Food Raw Materials Using Radiation Technologies // Phys. At. Nucl. 2016. V. 79, No. 14. P. 1682–1687.
3. *Subedi D. P.* Contact Angle Measurement for the Surface Characterization of Solids // The Himalayan Phys. 2011. V. 2. P. 1–4.
4. *Тесленко М. Г., Пермяков В. И.* Практическое исследование точности приборов для измерения угла смачивания // Отраслевые аспекты техн. наук: Электронный науч. журн. 2015. Вып. 4(46). С. 17–26.
5. *Казицын Л. А., Куплетская Н. Б.* Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии. М.: Высш. шк., 1971.