

размеров агломератов улучшают проводимость пленки PEDOT:PSS и улучшают качество границы раздела PEDOT:PSS/электрод, что обеспечивает улучшенный транспорт и перенос дырок. Из данных анализа спектров импеданса, следует, что наиболее положительная динамика наблюдается при использовании изопропилового спирта в качестве дополнительного растворителя.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08856176).

### Список использованных источников

1. Kim K., Ihm K., Kim B. Surface Property of Indium Tin Oxide (ITO) After Various Methods of Cleaning // Acta Physica Polonica A, Proceedings of the 4th International Congress APMAS2014, April 24-27, 2014, Fethiye, Turkey. – Vol. 127, № 4.

2. J. Bisquert, I. Mora-Sero, and F. Fabregat-Santiago, “Diffusion-recombination impedance model for solar cells with disorder and nonlinear recombination,” ChemElectroChem, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2014, doi: 10.1002/celc.201300091.

УДК 678.7-13

**Т.В. Савинцова**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Томск, Российская Федерация

### СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ЛАКТИДА

*Аннотация.* Синтез лактида проводили термической деструкцией полилактида в присутствии оксида цинка. Индификацию образцов осуществляли ИК-спектроскопией в интервале волновых чисел 4500-400 $\text{см}^{-1}$  и определением температуры плавления. Полученный мономер использовался для получения полилактида, сополимеров лактида и гликолида, лактида и капролактама.

**T.V. Savintsova**

National Research Tomsk Polytechnic University  
Tomsk, Russian Federation

### SYNTHESIS OF LACTIDE-BASED COPOLYMERS

*Abstract.* The lactide production was carried out by thermal degradation of polylactide in the presence of zinc oxide. Identification of the samples was performed by IR spectroscopy in the range of wave numbers 4500-400  $\text{cm}^{-1}$  and determination of the

*melting point. The resulting monomer was used to produce polylactide, a copolymer of lactide and glycolide, lactide and caprolactam.*

**Введение.** В последние годы полилактид и его сополимеры с различными мономерами, из-за их хорошей проницаемости, биоразлагаемости и биосовместимости, привлекают все большее внимание в различных отраслях промышленности для производства продукции широкого спектра назначения: в качестве шовных нитей, систем доставки лекарств пролонгированного действия, имплантов, клеточных каркасов в тканевой инженерии, в производстве биоразлагаемых каучуков и товаров потребительского назначения [1-3].

Производство лактида и его сополимеров в крупном масштабе в Российской Федерации отсутствуют, поэтому существует потребность в недорогих и доступных технологиях его производства.

Целью данной работы является получение лактида из некондиционных полимеров на основе полилактида и дальнейшая его полимеризация и сополимеризация с различными мономерами.

**Материалы и методы исследования.** В качестве исходных веществ для получения сополимеров использовали капролактam, синтезированный нами лактид и гликолид по следующим методикам: гликолид получали поликонденсацией гликолевой кислоты с использованием 1%(мас.) оксида цинка на роторном испарителе. Условия эксперимента указаны в таблице 1.

**Таблица 1 – Условия получения олигомера гликолевой кислоты**

Время	Температура, °С	Давление, мбар
0	130	500
80	150	500
100	180	500
120	180	300
140	180	100

Некондиционный полилактид, олигомер гликолевой кислоты подвергали термической деструкции с использованием катализатора (оксид цинка) в количестве 1-2% (мас.). Синтез проводили при температуре 180-200 °С и давлении 10 мбар в течение 30-40 минут.

Для очистки сырцов использовали метод перекристаллизации из этилацетата.

Конечные продукты сушили в шкафу при комнатной температуре.

Полимеризацию лактида и сополимеризацию лактида с мономерами (гликолид, капролактam), проводили на роторном

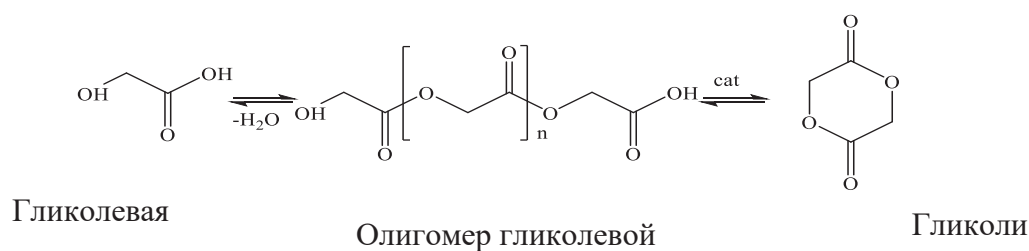
испарителе. Добавляли катализатор (оксид цинка, октоат олова) в количестве 1,5 % от массы лактида. Условия эксперимента указаны в таблице 2. Время синтеза 6 часов.

**Таблица 2 – Условия эксперимента полимеризации лактида**

Время, мин	Температура, °С	Давление, мбар	Обороты колбы, об/мин
0	120	25	60
30	140	150	45
70	160	300	30
130	170	450	15
250	180	600	10

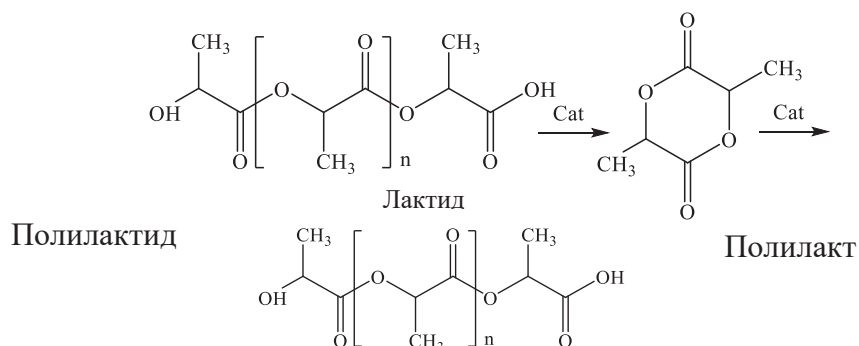
Анализ и идентификация полученных продуктов осуществляли ИК-спектроскопией и определением температуры плавления.

**Результаты.** Химизм образования гликолида и полилактида изображены на рис. 1,2.



**Рис. 1 – Химизм образования гликолида**

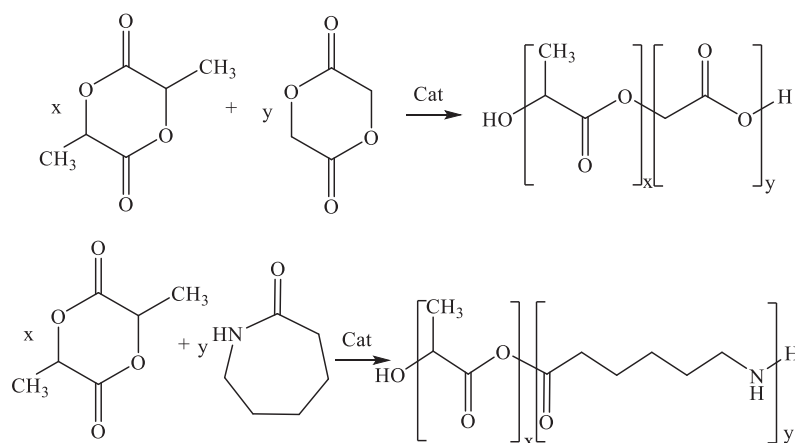
В результате поликонденсации гликолевой кислоты получили олигомер гликолевой кислоты с выходом 33%. При последующей термической деструкции олигомера образовался гликолид, выход которого составил 49%.



**Рис. 2 – Химизм образования полилактида**

В результате проведения термической деструкции полилактида получена серия образцов лактида, выход которых составил 60 %. При последующей полимеризации лактидов получили полилактид с выходом 83%.

Химизм сополимеризации лактида с гликолидом, лактида с капролактамом представлены на рис. 3.



**Рис. 3 – Химизм образования сополимеров на основе лактида**

При полимеризации лактида с гликолидом получен сополимер поли(лактид-со-гликолид), выход которого составил 86%. А при полимеризации лактида с капролактамом образовался сополимер поли(лактид-со-капролактама) с выходом 75%.

Температура плавления лактида составила 81-110 °С, что говорит о том, что в мономере содержится смесь *D*-лактида, *L*-лактида.

Температура плавления очищенного гликолида составила 80-95°С, что говорит о том, что в нем содержится минимальное количество примесей, т.к. согласно литературным данным его температура плавления равна 84 °С.

В таблице 3 представлены расшифровки ИК-спектров лактида, полилактида, гликолида, поли(лактид-со-капролактама).

**Таблица 3 – Расшифровка ИК-спектров**

Функциональная группа	Полосы поглощения, см <sup>-1</sup>			
	Лактид	Полилактид	Гликолид	Поли(лактид-со-капролактама)
Карбонильная группа	1726-1736	1743	1738	1743
Эфирная группа	1086-1240	1043-1261	1080-1160	1041-1182
Метильная группа	1317-1443	1375-1448		2924

Колебания циклического кольца	767-929			
Гидроксильная группа		3019-3096		
Связь С-Н			1416	
Связь СН <sub>2</sub>				2847
Амидная группа				1446

### Выводы

1. Получен лактид из полилактида и гликолид из гликолевой кислоты (температура - 180-200°C, давление - 10мбар, время процесса - 25-40мин, катализатор – ZnO).

2. Определен выход лактида-сырца и лактида, который в данных условиях составил – 60-85 % и 60,0 % соответственно. Очищенный продукт представляет собой смесь изомеров – D-лактид и L-лактид.

3. Определен выход гликолида-сырца и гликолида, который составил – 32,0% и 49,0% соответственно. Температура плавления очищенного гликолида составила 80-95°C.

4. Методом полимеризации с раскрытием кольца в присутствии октоата олова (катализатор) при температуре 180 °С, давлении 600 мбар и длительностью синтеза 5,5 часов получены полилактид, поли(лактид-со-гликолид), поли(лактид-со-капролактан), выходы которых составили 83,0 %, 86,0 % и 75,0 % соответственно.

### Список использованных источников

1. Ruizhi Wu. One-Shot Block Copolymerization of a Functional Seven-Membered Cyclic Carbonate Derived from L-Tartaric Acid with  $\epsilon$ -Caprolactone / Ruizhi Wu, Talal F. AL-Azemi, Kirpal S. Bisht // *Macromolecules*. – 2009. - №42. – P. 2401-2410.

2. Asutosh K. Pandey. Copolymerization of L,L-lactide with  $\epsilon$ -caprolactone by using novel zinc L-proline organometallic catalyst // *e-Polymers*. - 2010. - No. 139.

3. Седуш, Н.Г. Кинетика полимеризации лактида и гликолида, свойства и биомедицинские применения полученных полимеров: диссертация на соиск. ученой степени канд. физ-хим. наук: 01.04.17 / Седуш Никита Геннадьевич. – Москва, 2015. – 151с.