



<https://doi.org/10.15407/polymerj.45.04.293>  
УДК 544.273:54-386:678.554

**Л.В. КОБРИНА,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02155, Україна,  
e-mail: kobrina.larisa@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-6801-0801

**В.В. БОЙКО,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02155, Україна,  
ORCID: 0000-0002-5527-0468

**В.В. СИНЕЛЬНИКОВ,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02155, Україна,  
ORCID: 0000-0003-0746-9146

**В.І. БОРТНИЦЬКИЙ,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02155, Україна,  
ORCID: 0000-0003-4954-6533

**С.В. РЯБОВ,**

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02155, Україна,  
e-mail: sergii.riabov@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-2996-3794

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІЕЛЕКТРОЛІТНИХ КОМПЛЕКСІВ АЛЬГІНАТУ НАТРІЮ З ПОЛІЕТИЛЕНІМІНОМ МЕТОДОМ ПІРОЛІТИЧНОЇ МАС-СПЕКТРОМЕТРІЇ**

Синтезовано поліелектролітні комплекси (ПЕК) на основі альгінату натрію (АН) з поліетиленіміном (ПЕІ) за мольного співвідношення АН:ПЕІ=1,00:0,25 (ПЕК-1) і АН:ПЕІ=1,0:0,5 (ПЕК-2). За результатами дослідження методом піролітичної мас-спектрометрії встановлено температурні інтервали термодеструкції як вихідних компонентів, так і ПЕК. Показано, що мольне співвідношення у цих ПЕК істотно впливає на рівень набування у водному середовищі, а також на міцнісні властивості – плівка ПЕК-2 жорсткіша і крихкіша порівняно з плівкою ПЕК-1, яка зберігає гнучкість. Встановлено, що ПЕК-2 в усьому температурному діапазоні має нижчий показник загального іонного струму летких компонентів і меншу кількість іонних фрагментів, що утворюються під час піролізу, ніж ПЕК-1. Тобто комплекс ПЕК-2 стійкіший до дії температури, ніж комплекс ПЕК-1, що можна пояснити відмінністю молекулярної структури зразків. Формування більшої кількості іонних і водневих зв'язків у ПЕК-2 забезпечує утворення більш жорсткої та впорядкованої структури порівняно з ПЕК-1. Варто зауважити, що склад компонентів ПЕК-2 наближений до стехіометричного, що призводить до зниження ступеня набування його плівки у воді й зниження її еластичності.

**Ключові слова:** поліелектролітні комплекси, альгінат натрію, поліетиленімін, метод піролітичної мас-спектрометрії.

### **Вступ**

Один із перспективних напрямів сучасного полімерного матеріалознавства пов'язаний

з використанням поліелектролітних комплексів. Явища інтерполімерної взаємодії й утворення комплексів поліелектролітів є предметом інтенсивних фундаментальних і

Цитування: Кобрина Л.В., Бойко В.В., Синельников В.В., Бортницький В.І., Рябов С.В. Дослідження поліелектролітних комплексів альгінату натрію з поліетиленіміном методом піролітичної мас-спектрометрії. *Полімерний журнал*. 2023. 45, № 4. С. 293—298. <https://doi.org/10.15407/polymerj.45.04.293>

прикладних досліджень [1–5].

Поліелектролітні комплекси (ПЕК) – особливий клас високомолекулярних сполук, які утворюються при змішуванні водних розчинів протилежно заряджених поліелектролітів (ПЕ) завдяки кооперативному електростатичному зв'язуванню полікатионів з поліаніонами. Залежно від співвідношення зарядів і ступеня полімеризації вихідних ПЕ можна отримати або нестехіометричні водорозчинні ПЕК, або стехіометричні нерозчинні ПЕК, які лише слабо набухають у воді.

ПЕК – перспективний клас полімерних матеріалів для використання в галузях біотехнології, екології, мембранної технології, фармації та медицини, при виробництві фотоелектричних приладів тощо. Тому вивчення взаємодії комплементарних макромолекул природних і синтетичних сполук, що супроводжується утворенням ПЕК, – актуальне завдання хімії й технології полімерів, вирішення якого може стати основою для створення нових біоподібних матеріалів шляхом поєднання оптимальних властивостей усіх компонентів комплексу [6–8].

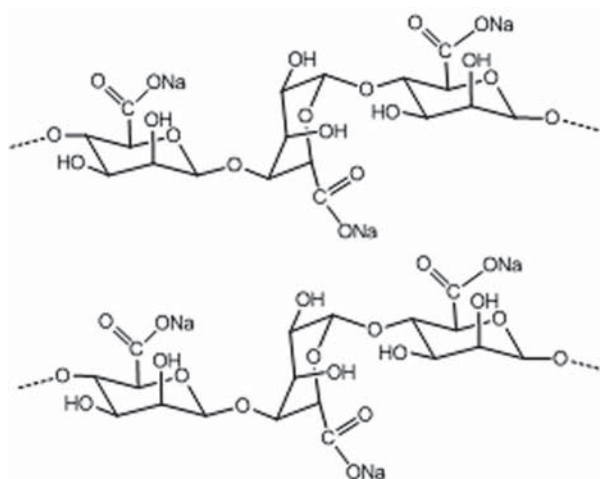
Перспективними компонентами при утворенні ПЕК є альгінатні полімери. Альгінові кислоти – це полісахариди, що складаються із залишків уронових кислот. Молекули альгінових кислот лінійні, побудовані із залишків  $\alpha$ -L-гулурунової та  $\beta$ -D-манурунової кислот, які з'єднані між собою 1,4-глікозидними зв'язками. Цікавими об'єктами є деякі солі альгінової кислоти, так звані альгінати. Зазвичай альгінати отримують із морських водоростей (лат. Phaeophyceae), ламінарії японської (лат. Laminaria japonica Aresch) та інших водоростей шляхом їх оброблення водними розчинами лугу, зазвичай NaOH [9]. Зокрема альгінат натрію (АН) завдяки своїй водорозчинності, нетоксичності та високій загущувальній здатності широко застосовують у харчовій, медичній, косметичній, текстильній та інших галузях промисловості [10–12]. Оскільки АН – природний поліаніон, цікаве його використання при отриманні ПЕК, наприклад з широко відомим полікатионом – поліетиленіміном, який має антимікробні властивості [13]. Публікацій стосовно досліджень систем подібного складу для отримання ПЕК обмежена кількість, і вони зосереджені переважно на отриманні хімічно та іонно зшитих продуктів [14–17].

Отже, метою цієї роботи є отримання поліелектролітних комплексів альгінату натрію з поліетиленіміном і дослідження їх методом піролітичної мас-спектрометрії.

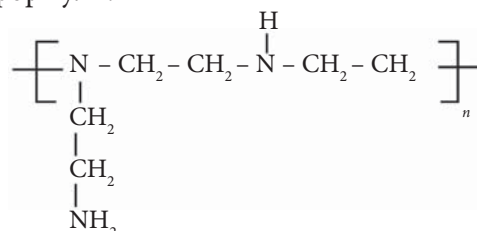
## Експериментальна частина

Для проведення експериментальної роботи використовували такі реагенти:

Альгінат натрію (АН), ММ (мономерного фрагмента  $C_6H_7O_6Na$ ) 198; реактив фірми Aldrich.



Поліетиленімін – синтетичний полімер виробництва фірми Aldrich,  $M_n = 10000$ , загальної формули:



Лимонна кислота (ЛК) формули  $C_6H_8O_7$ , ММ 192 від ТОВ «Хімлаборреактив».

### Методика отримання плівок ПЕК

Для отримання ПЕК готували 2 %-ві водні розчини компонентів АН, ПЕІ та ЛК. До 4 г розчину АН додавали 0,22 г розчину ПЕІ – співвідношення 1,00:0,25 г/екв (ПЕК-1) або 0,44 г розчину ПЕІ – 1,0:0,5 г/екв (ПЕК-2). Потім додавали 0,32 г (для ПЕК-1) або 0,64 г розчину ЛК (ПЕК-2) і перемішували протягом 5 хв за кімнатної температури. Експериментальні зразки плівок готували методом поливу: формувальний розчин наносили на поліпропіленову поверхню й сушили плівку за кімнатної температури до сталої ваги. Схема синтезу ПЕК наведена на рис. 1.

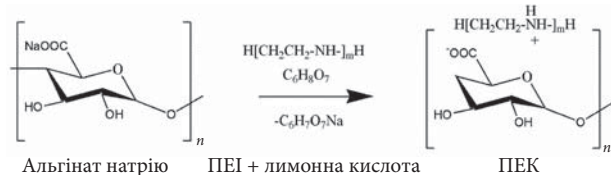


Рис. 1. Схема синтезу ПЕК

Отримані зразки ПЕК випробовували на набухання за такою методикою: 0,1 г полімеру заливали надлишком дистильованої води і через 24 год. (після повного набухання) вимірювали масу гелю.

Обчислювали коефіцієнт поглинання ( $K$ ):

$$K = m/m_0$$

і ступінь набухання ( $\alpha$ ):

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%$$

де:  $m_0$  і  $m$  – маса полімеру вихідна й після набухання у воді відповідно.

Для ПЕК-1 і ПЕК-2 коефіцієнт поглинання становив 116 і 75,4, а ступінь набухання – 11500 і 7440 % відповідно.

Дослідження методом піролітичної мас-спектрометрії (ПМС) виконували на мас-спектрометрі MX-1321, який забезпечує визначення компонентів газових сумішей у діапазоні масових чисел 1–4000, згідно з методикою, описаною у роботі [18]. Маса зразків становила 0,5 мг. Мас-спектри летких продуктів термодеструкції об'єктів дослідження обробляли за допомогою комп'ютерної програми, яка дає змогу реєструвати інтенсивність виділення кожного газоподібного продукту за інтегральною площею під відповідним піком. Вивчали температурну залежність зміни інтенсивності виділення летких продуктів термодеструкції досліджуваних об'єктів (загальний іонний струм  $I$ ) і склад іонних фрагментів, утворених при терморозкладанні зразків. Інтенсивність ( $I$ ) виділення окремих летких продуктів (іонних фрагментів) відображали в ум. од. Отримані мас-спектри продуктів деструкції порівнювали з мас-спектрами каталогів [19, 20].

## Результати дослідження та їх обговорення

Термограми PEI, AN і ПЕК на їх основі

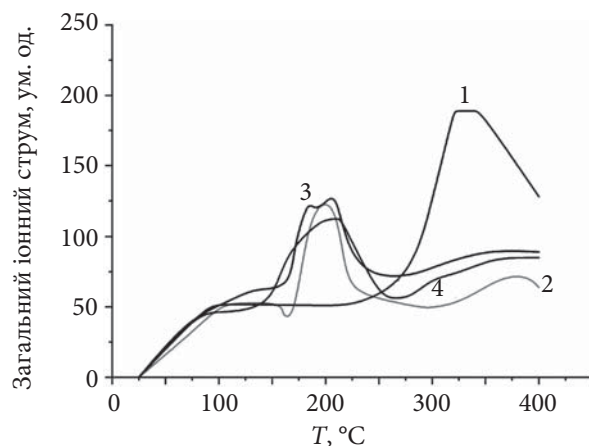


Рис. 2. Температурна залежність загального іонного струму виділення летких продуктів термодеструкції: 1 – PEI; 2 – AN; 3 – ПЕК-1; 4 – ПЕК-2

наведено на рис. 2, а загальні параметри термодеструкції цих об'єктів дослідження – в табл. 1.

Як видно з наведених даних, при піролізі PEI до  $T = 89^\circ\text{C}$  відбувається невелике зростання значення загального іонного струму виділення летких компонентів до показника 51 ум. од., який залишається сталим до  $T = 240^\circ\text{C}$  (рис. 2, крива 1, табл. 1). Мас-спектр PEI за  $T=100^\circ\text{C}$  налічує всього 2 летких продукти, які утворюються внаслідок відривання бічної групи  $\text{C}_2\text{H}_6\text{N}$  ( $m/z = 44$ ) та леткий з  $m/z = 18$  (найімовірніше  $\text{NH}_4^+$ ). Такі ж леткі компоненти спостерігаються і за  $T = 230^\circ\text{C}$ . В інтервалі температури  $240\text{--}280^\circ\text{C}$  на кривій загального іонного струму PEI спостерігали плавне збільшення на 20 ум. од, а далі різке збільшення цього показника в 2,7 раза за  $T=320^\circ\text{C}$ .

Мас-спектр, знятий за  $T=270^\circ\text{C}$ , налічує 12 іонних фрагментів, а за  $T=320^\circ\text{C}$  у мас-спектрі реєструють уже 46 летких, за  $T=340^\circ\text{C}$  – 51 (табл. 1). Тобто в межах температури  $320\text{--}345^\circ\text{C}$  відбувається термодеструкція основних ланцюгів макромолекул PEI. Серед іонних фрагментів з високою питомою інтенсивністю, наведених у табл. 2, реєструють такі, що належать до бічної групи:  $m/z = 44$  ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{N}$ ); 30 ( $\text{CH}_2\text{NH}_2$ ); 31 ( $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ); 42 ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{N}$ ); 43 ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{N}$ ); а також леткі компоненти, утворені при деструкції головного ланцюга макромолекули PEI:  $m/z = 56$  ( $-\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}$ ); 58 ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{N}$ ); 99 ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{N}_3$ ); 85 (мономерна ланка  $\text{C}_4\text{H}_9\text{N}_2$ ); 71 ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{N}$ ) і 70 ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}$ ).

AN терморозкладається в три стадії (рис. 2, крива 2). На першій стадії в інтервалі

Таблиця 1. Температура розкладання, загальний іонний струм і кількість іонних фрагментів при піролізі об'єктів дослідження

Об'єкт дослідження	Температура (T), °C	Загальний іонний струм (I), ум. од.	Кількість іонних фрагментів (K), од.
ПЕІ	340	189	51
	100	50	13
АН	190	123	30
	210	125	*
	400	64	31
	100	51	10
ПЕК-1	183	126	*
	190	118	20
	210	131	59
	350	91	94
	400	89	58
	100	46	11
ПЕК-2	190	108	22
	320	73	76
	350	82	87
	400	83	45

\* За вказаної температури мас-спектр не знімали.

температур 100–150 °C на термограмі спостерігають плато з показником загального іонного струму 50 ум. од. За температури 100 °C у мас-спектрі АН реєструють 13 іонних фрагментів, які утворюються унаслідок відривання бічних груп і незначного (виходячи з питомої інтенсивності ІФ) руйнування головного ланцюга макромолекули (ІФ з  $m/z = 16, 17, 18, 41, 43, 44, 60$  і  $61$ ) (табл. 2). У вузькому температурному інтервалі 175–225 °C відбувається переважно друга стадія термодеструкції АН з максимумом виділення летких продуктів за температури 190 °C з утворенням 30 ІФ із загальним іонним струмом 123 ум. од. (табл. 1). Найінтенсивніші піки в мас-спектрі за цієї температури стосуються летких продуктів з  $m/z = 44$  ( $\text{CO}_2, \text{CHCH}_2\text{OH}, \text{CH}_3\text{CHO}$ ); 18 ( $\text{H}_2\text{O}$ ); 17 ( $\text{OH}$ );

28 ( $\text{CO}, \text{C}_2\text{H}_4$ ); 16 ( $\text{CH}_4$ ); 43 ( $\text{C}_3\text{H}_7, \text{CH}_2\text{CHO}$ ); 45 ( $\text{COOH}, \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ); 29 ( $\text{C}_2\text{H}_5, \text{CHO}$ ); 46 ( $\text{C}_4\text{H}_6$ ) і 60 ( $\text{OCHCH}_2\text{OH}, \text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ ) (табл. 2). На третій стадії з температури 350–400 °C показник загального іонного струму зменшується майже удвічі порівняно з другою стадією (табл. 1), проте кількість летких компонентів у мас-спектрі за температури 400 °C навіть зростає на одиницю, додаються ІФ з більшим масовим числом, а саме з  $m/z = 91, 105$  і  $111$ .

Терморозкладання комплексів АН із ПЕІ до  $T=100$  °C відбувається аналогічно термодеструкції вихідного АН: швидкість деструкції, показник загального іонного струму та кількість іонних фрагментів майже збігаються (рис. 2, табл. 1). За температури максимального терморозкладання АН (190 °C) для обох ПЕК

Таблиця 2. Десять найінтенсивніших іонних фрагментів у мас-спектрах об'єктів дослідження

Об'єкти дослідження	Масове число ( $m/z$ ) / Питома інтенсивність ( $I \cdot 10^4$ ), ум. од.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АН	44 /	18 /	17 /	28 /	16 /	43 /	45 /	29 /	46 /	60 /
$T=190$ °C	19,20	12,14	5,62	3,18	2,10	1,79	1,76	0,81	0,79	0,48
ПЕІ	44 /	30 /	56 /	42 /	58 /	99 /	85 /	71 /	43 /	70 /
$T=340$ °C	0,80	0,78	0,69	0,68	0,67	0,52	0,50	0,40	0,40	0,39
ПЕК-1	44 /	28 /	18 /	43 /	17 /	45 /	16 /	29 /	31 /	60 /
$T=210$ °C	18,29	11,85	11,26	7,38	5,03	2,81	2,37	2,09	1,44	0,97
$T=350$ °C	44 /	18 /	28 /	43 /	42 /	41 /	27 /	126 /	29 /	39 /
ПЕК 2	3,36	2,41	2,03	1,49	1,30	1,24	1,06	0,93	0,80	0,69
$T=190$ °C	44 /	18 /	17 /	28 /	16 /	45 /	43 /	40 /	29 /	46 /
$T=190$ °C	15,42	10,25	3,75	3,24	1,67	1,11	0,77	0,46	0,42	0,32
$T=350$ °C	44 /	18 /	28 /	43 /	41 /	27 /	29 /	42 /	39 /	16 /
	3,22	2,09	1,80	1,38	0,99	0,87	0,77	0,75	0,57	0,46

спостерігали нижчі показники ЗІС і кількості ІФ (табл. 1), ніж у АН. Але вже за  $T=210\text{ }^{\circ}\text{C}$  для ПЕК-1 при незначному (на 8 ум. од.) підвищенні показника ЗІС кількість летких продуктів зростає майже вдвічі (59 проти 30) порівняно з вихідним АН. Якщо порівнювати з вихідним ПЕІ, то за температури  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$  у мас-спектрах комплексів реєстрували більше на 43 і 36 од. для ПЕК-1 і ПЕК -2 відповідно, ніж у мас-спектрі ПЕІ, знятому за  $T=340\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Найінтенсивніші піки в мас-спектрах комплексів спостерігали для іонних фрагментів, характерних для АН і ПЕІ, а саме ІФ з  $m/z = 44$  ( $\text{CHCH}_2\text{OH}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{CHO}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6\text{N}$ ); 18 ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ); 17 ( $\text{OH}$ ,  $\text{NH}_3$ ); 43 ( $\text{C}_3\text{H}_7$ ,  $\text{CH}_2\text{CHO}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{N}$ ); 28 ( $\text{CO}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_2\text{N}$ ); 29 ( $\text{C}_2\text{H}_5$ ,  $\text{CHO}$ ,  $\text{N}_2\text{H}$ ) та інші (табл. 2). Але водночас при піролізі зразків ПЕК-1 і ПЕК-2 утворюється велика кількість летких компонентів з низькою питомою інтенсивністю, які відсутні в мас-спектрах вихідних речовин. Порівнюючи термограми й мас-спектри комплексів, слід зазначити, що ПЕК-2 має менші показники загального іонного струму та кількості летких продуктів (табл. 1), тобто він більш термостійкий, ніж ПЕК-1. Те, що зі

збільшенням вмісту ПЕІ система стає стійкішою до дії високих температур, може свідчити про утворення в ній більшої кількості зв'язків між макромолекулами АН і ПЕІ і вочевидь є підтвердженням утворення ПЕК між АН і ПЕІ.

## Висновки

Отже, аналізуючи результати мас-спектрометричного дослідження, можна констатувати, що зразки ПЕК-1 і ПЕК-2 не є фізичною сумішшю двох окремих речовин, а являють собою ПЕК. Слід підкреслити, що в ПЕК реалізуються різні типи зв'язування: крім електростатичної взаємодії між ПЕ утворюються водневі зв'язки, а також відбувається міжмолекулярна взаємодія.

Формування більшої кількості іонних і водневих зв'язків у ПЕК-2, на нашу думку, забезпечує утворення більш упорядкованої жорсткої (порівняно з ПЕК-1) структури. Варто зауважити, що склад компонентів ПЕК-2 наближений до стехіометричного, що призводить до зниження ступеня набухання його плівки у воді і зниження її еластичності.

## REFERENCES

1. Srivastava A., Yavvari P. S., Awasthi A. K., Sharma A., Bajaj A. Emerging Biomedical Applications of Polyaspartic Acid-Derived Biodegradable Polyelectrolytes and Polyelectrolyte Complexes. *J. Mater. Chem. B*, 2019, 7: 2102–2122. <https://doi.org/10.1039/C8TB02962H>.
2. Bhattarai A., Ghimire Y. A Review on Polyelectrolytes (PES) and Polyelectrolyte Complexes (PECs). *Internat. J. of engineering research & technology*, 2020, 9: 876–889 <https://www.academia.edu/download/64390786/a-review-on-polyelectrolytes-pes-and-IJERTV9IS080112.pdf>. <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS080112>.
3. Lankalapalli S., Kolapalli V.R.M. A Review of their Applicability in Drug Delivery Technology. *Indian J Pharm Sci.*, 2009, 71: 481–487. <http://doi.org/10.4103/0250-474X.58165>.
4. Mecerreyes D. Polymeric ionic liquids: Broadening the properties and applications of polyelectrolytes. *Progress in Polymer Science*, 2011, 36: 1629–1648. <http://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.05.007>.
5. Venditti I. Morphologies and functionalities of polymeric nanocarriers as chemical tools for drug delivery: a review. *Journal of King Saud University Science*. 2019, 31: 398–411. <http://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.10.004>.
6. Meka V.S., Sing M.K.G., Pichika M.R., Nali S.R., Kolapalli V.R.M., Kesharwani P. A comprehensive review on polyelectrolyte complexes. *Drug Discovery Today*. 2017, 22: 1697–1706. <http://doi.org/10.1016/j.drudis.2017.06.008>.
7. Boddohi S., Moore N., Johnson P.A., Kipper M.J. Polysaccharide-Based Polyelectrolyte Complex Nanoparticles from Chitosan, Heparin, and Hyaluronan. *Biomacromolecules*. 2009, 10: 1402–1409. <http://doi.org/10.1021/bm801513e>.
8. Pack D. W., Hoffman A. S., Pun S., Stayton, P. S. Design and Development of Polymers for Gene Delivery. *Nat. Rev. Drug. Discov.* 2005, 4: 581–593. <https://doi.org/10.1038/nrd1775>.
9. Smidsrod O., Skjak G. Alginate as immobilization matrix for cells. *Trends in Biotechnology*. 1990, 8: 71–78. [http://doi.org/10.1016/0167-7799\(90\)90139-O](http://doi.org/10.1016/0167-7799(90)90139-O).
10. Raus R. A., Nawawi W. M. F. W., Nasaruddin R. R. Alginate and alginate composites for biomedical applications. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2021, 16: 280–306. <http://doi.org/10.1016/j.ajps.2020.10.001>.
11. Orel L.A., Sinelnikov S.I., Kobrina L.V., Boyko V.V., Riabov S.V. Polymer matrices based on sodium alginate: synthesis and kinetics of the release of metoprolol. *Voprosy khimii i khimicheskoi technologii*. 2017, no. 6: 32–38. <http://vhht.dp.ua/wp-content/uploads/pdf/2017/6/Orel.pdf>

12. Orel L.A., Sinelnikov S.I., Radchenko O.A., Kobrina L.V., Boyko V.V., Riabov S.V.  $\beta$ -cyclodextrins influence in alginate matrices on the release kinetics of quercetin. *Ukr. Chem. Journal*. 2018, **84**, no. 4: 86–93.
13. Beyth, N., Hourri-Haddad, Y., Baraness-Hadar, L., Yudovin-Farber, I., Domb, A. J., & Weiss, E. I. (2008). Surface antimicrobial activity and biocompatibility of incorporated polyethylenimine nanoparticles *Biomaterials*, 29(31), 4157–4163. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.07.003>.
14. D Anjali Devi, Biduru Smitha, Sundergopal Sridhar, Sheetal S Jawalkar, Tejraj M Aminabhavi Novel sodium alginate/polyethyleneimine polyion complex membranes for pervaporation dehydration at the azeotropic composition of various alcohols. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2007, **82**: 993–1003. <https://doi.org/10.1002/jctb.1735>.
15. Fu, Y., Zou, S., Zhang, S., Na, B., Lin, S., & Lv, R. Supramolecular alginate-polyethyleneimine composite hydrogels for enhanced uranium adsorption. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2023, 332: 4463–4470. <https://doi.org/10.1007/s10967-023-09142-6>.
16. Wang, M., Yang, Q., Zhao, X., & Wang, Z. (2019). Highly efficient removal of copper ions from water by using a novel alginate-polyethyleneimine hybrid aerogel. *International journal of biological macromolecules*, 2019, **138**: 1079–1086. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.160>.
17. Kim, H., Purev, O., Myung, E., Choi, N., & Cho, K. Removal of methyl red from aqueous solution using polyethyleneimine crosslinked alginate beads with waste foundry dust as a magnetic material. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19, **15**: 9030 <https://doi.org/10.3390/ijerph19159030>.
18. Boyko V.V., Riabov S.V., Kobrina L.V., Dmitrieva T.V., Shompel' V.I., Gaiduk R.I., Kercha Yu.Yu. Segmented polyurethane biodegradation processes. *Ukr. Chem. Journal*. 2007, **73**, no. 7: 51–60.
19. Beinon Dzh. Mas-spectrometriia i eye primeneniye v organicheskoy khimii [Mass spectrometry and its use in organic chemistry]. Per s angl. Mir, Moskva, 1964:701.
20. Sidel'nikov V.N., Gur'yanova L.V., Utkin V.A., Malakhov V.V., Kolchin A.M. Katalog sokrashchennykh mass-spektrov [Short catalogue of mass spectra]. Nauka, Novosibirsk. 1981:187.

Received 04.10.2023

L.V. Kobrina,

Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine, 48, Kharkivske shose, Kyiv, 02155, Ukraine,  
e-mail: kobrina.larisa@gmail.com

V.V. Boiko,

Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine, 48, Kharkivske shose, Kyiv, 02155, Ukraine

S.I. Synelnykov,

Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine, 48, Kharkivske shose, Kyiv, 02155, Ukraine

V.I. Bortnytskiy,

Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine, 48, Kharkivske shose, Kyiv, 02155, Ukraine

S.V. Riabov,

Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine, 48, Kharkivske shose, Kyiv, 02155, Ukraine,  
e-mail: sergii.riabov@gmail.com

#### STUDYING OF POLYELECTROLYTE COMPLEXES OF SODIUM ALGINATE WITH POLYETHYLENEIMINE BY PYROLYTIC MASS SPECTROMETRY METHOD

Polyelectrolyte complexes (PECs) based on sodium alginate (SA) with polyethyleneimine (PEI) were synthesized at a molar ratio of SA:PEI = 1.00:0.25 (PEC-1) and SA:PEI = 1.0:0.5 (PEC-2). The temperature intervals of thermodegradation for both the initial components and PECs were determined by pyrolytic mass spectrometry. It was shown that the molar ratio in these PECs significantly affects their swelling level in an aqueous environment as well as their mechanical characteristics. For instance, PEC-2 film is stiffer and more brittle compared to PEC-1 film, which retains flexibility. It has been revealed that PEC-2 exhibits a lower total ionic current of volatile components and a smaller number of ionic fragments generated during pyrolysis across the entire temperature range compared to PEC-1. In other words, PEC-2 is more resistant to temperature impact than PEC-1, which can be attributed to the difference in the molecular structure of the PECs. The formation of a greater number of ionic and hydrogen bonds in PEC-2, in our opinion, results in the formation of a stiffer and more ordered structure (compared to PEC-1). It is worth noting that the composition of PEC-2 is closer to stoichiometric, which leads to a decrease in the swelling degree of its film in water, and a decrease in its elasticity.

**Keywords:** polyelectrolyte complexes, sodium alginate, polyethyleneimine, pyrolytic mass spectrometry method.