

УДК 543.824

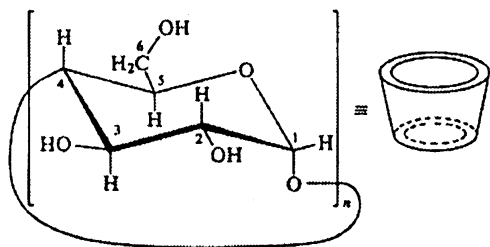
С.В. Рябов, В.В. Бойко, В.І. Бортницький, Т.В. Дмитрієва, Л.В. Кобріна, Ю.Ю. Керча

### МАС-СПЕКТРОМЕТРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОДЕРЖАНИХ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ КОМПЛЕКСІВ ВКЛЮЧЕННЯ СІЛІТРОВАНОГО ПОХІДНОГО $\beta$ -ЦИКЛОДЕКСТРИНУ З ОРГАНІЧНИМИ СПОЛУКАМИ \*

Аналіз температурної залежності зміни інтенсивності виділення летких продуктів піролізу сілітрованого похідного  $\beta$ -циклодекстрину ( $\beta$ -ЦД-Si) з 4-нітрофенолом та барвником — нільським блакитним, склад йонних фрагментів, що утворюються при терморозкладанні зразків при різних температурах, їх індивідуальна питома інтенсивність показали можливість одержання у водному середовищі стійких комплексів включення між  $\beta$ -ЦД-Si і 4-нітрофенолом та між  $\beta$ -ЦД-Si і барвником — нільським блакитним. Запропоновані можливі схеми утворення комплексів включення між досліджуваними речовинами.

Останнім часом у джерелах водопостачання виявляють різноманітні органічні сполуки, що входять до складу миючих засобів, косметичних та фармацевтичних препаратів тощо, які негативно впливають на стан здоров'я людини. Низький вміст цих забруднювачів у воді ускладнює їх вилучення традиційними методами водопідготовки, тому актуальним є пошук та створення ефективних сорбентів з добре розвинутою пористою структурою, які можна використовувати для очистки водного середовища. З цієї точки зору увагу науковців привертають циклодекстрини (ЦД) та їх похідні.

Циклодекстрини являють собою циклічні олігомери глюкози, побудовані з  $\alpha$ -1,4-зв'язаних залишків *D*-глюкопіранози [1]. Часто молекулу ЦД відображають як усічений конус, на верхньому вінці (більш широкому) якого розташовані вторинні гідроксильні групи, а на нижньому (вузькому) — первинні (в деяких випадках така форма може значно відхилитися від ідеальної симетрії):



Найбільш розповсюдженими є  $\alpha$ -,  $\beta$ - та  $\gamma$ -циклодекстрини, для яких  $n = 6, 7$  та  $8$  глюкопіраноз-

них фрагментів, а розмір їх порожнини становить 0.57, 0.78 та 0.93 нм відповідно, що є оптимальним для утворення стійких комплексів включення з органічними молекулами різних розмірів [2—5]. Атоми водню Н(3) та Н(5) зорієнтовані усередину порожнини молекули, гідроксильні групи — назовні, а завдяки розташуванню електронегативних атомів кисню у середині кільця внутрішня порожнина ЦД має гідрофобний характер, зовнішня частина макроциклу ЦД, навпаки, є гідрофільною.

Для захисту гідроксильних груп ЦД (як правило, в положенні 6, а іноді в положенні 2) часто використовують реакцію сілітрування [6]. Однією з переваг цього процесу є те, що сіліл-етерний зв'язок, який утворюється завдяки цій реакції, має достатньо високу стабільність у широкому інтервалі умов різних хімічних реакцій без ризику його спонтанного зняття.

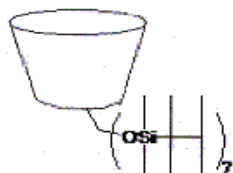
Унікальна будова молекул циклодекстринів та їх здатність утворювати комплекси включення типу гість-хазяїн з різними органічними молекулами (чи їх фрагментами), які комплементарні за розміром та формою внутрішній порожнині ЦД, робить їх перспективними для одержання сорбентів, в тому числі для використання у водному середовищі.

Мета даної роботи — дослідження можливості одержання комплексів включення у воді сілітрованого похідного  $\beta$ -циклодекстрину ( $\beta$ -ЦД) з органічними сполуками, зокрема 4-нітрофенолом та барвником — нільським блакитним.

\* Робота виконана за підтримки УНТЦ (проект № 3643).

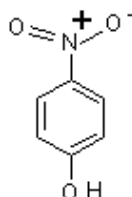
Об'єктами дослідження були:

– сіліліроване похідне  $\beta$ -циклодекстрину — 6-О-диметил(2,3-диметил-2-бутил-силіл)- $\beta$ -циклодекстрин, який синтезували за методиками, описаними в [6, 7], вміст  $\beta$ -ЦД — 58.35 % :

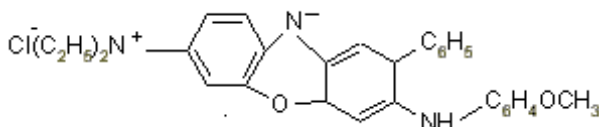


$\beta$ -ЦД-Si;

– 4-нітрофенол (4-НФ), продукт фірми Merck, ММ 139.11:



– барвник — нільський блакитний (НБ), ММ 485.0:



– зразок 1, одержаний з водного розчину 4-нітрофенолу при додаванні відповідної кількості  $\beta$ -ЦД-Si;

– зразок 2, одержаний з водного розчину нільського блакитного при додаванні відповідної кількості  $\beta$ -ЦД-Si.

Зразки 1 та 2 одержували, додаючи до водних розчинів 4-нітрофенолу та нільського блакитного  $\beta$ -ЦД-Si у мольному співвідношенні, яке становило для системи  $\beta$ -ЦД-Si : 4-нітрофенол = 1:1 та для  $\beta$ -ЦД-Si : нільський блакитний = 1:2. Розчини постійно перемішували при кімнатній температурі протягом двох діб, в подальшому розчинник випаровували і отримані зразки сушили до постійної маси.

Вихідні речовини та одержані зразки досліджували методом піролітичної мас-спектрометрії (ПМС), який, як відомо, є досить інформативним методом для характеристики складних органічних об'єктів, і дозволяє оцінювати особливості молекулярної будови останніх за складом продуктів їх термодеструкції [8, 9].

Вивчення складу легких продуктів та інтенсивності їх виділення при піролізі досліджуваних зразків проводили на мас-спектрометрі МХ-1321,

який забезпечує визначення компонентів газових сумішей у діапазоні масових чисел 1—4000. Перед проведенням досліджень зразки вакуумували впродовж 30 хв при температурі 25 °С безпосередньо у комірці мас-спектрометра. Відкачування піролітичної комірки, підключеної до аналізатора спектрометра, проводили до тиску  $1.33 \cdot 10^{-4}$  Па через вакуумний вентиль та джерело йонів мас-спектрометра. Всі з'єднувальні комунікації, включаючи вакуумний вентиль, обігрівались до температури, яка запобігає конденсації на них продуктів піролізу. Піроліз проводили в умовах лінійно програмованого нагріву в області температур 25—400 °С зі швидкістю нагрівання  $(6 \pm 1)$  °С/хв. Точність визначення температури зразка  $\pm 1$  °С. Для зменшення інерційності піроліз досліджуваних зразків проводили в тонкостінних ампулах з безперервною відкачкою легких фрагментів.

Обробку мас-спектрів легких продуктів термодеструкції об'єктів дослідження виконували за спеціально розробленою комп'ютерною програмою, яка дозволяє реєструвати інтенсивність кожного газоподібного компонента по інтегральній площі під відповідними піками. Одержані мас-спектри продуктів деструкції порівнювали з мас-спектрами, що наведені у каталогах [10, 11].

Вивчалась температурна залежність зміни інтенсивності виділення легких продуктів (загальний йонний струм  $J$ , ум.од.) термодеструкції досліджуваних зразків, склад йонних фрагментів, що утворюються при терморозкладанні зразків при різних температурах, їх індивідуальна питома інтенсивність, яку відображали в умовних одиницях.

Як видно з рис. 1 (крива 1), виділення легких продуктів при піролізі сілілірованого похідного  $\beta$ -ЦД починається при 100 °С, причому від 150 до 250 °С загальний йонний струм утворення газоподібних компонентів майже залишається незмінним у межах 25 ум.од. (табл. 1). При 150 °С у мас-спектрі  $\beta$ -ЦД-Si реєструється 16 йонних фрагментів, найбільш інтенсивними з яких є легкі компоненти з масовими числами  $m/z = 75$  та 149, які за структурою можуть бути віднесені до кремнійвмісних груп  $\beta$ -ЦД-Si (табл. 2), а також легкі з  $m/z = 18, 17, 43, 44$ , що утворюються внаслідок руйнації глюкопіранозних кілець. Основний процес термодеструкції вихідного  $\beta$ -ЦД-Si відбувається в межах 250—300 °С з максимумом при 280 °С. При цій температурі фіксується 65 йонних фрагментів із загальним йонним струмом їх виділення 246 ум. од. (табл. 1).

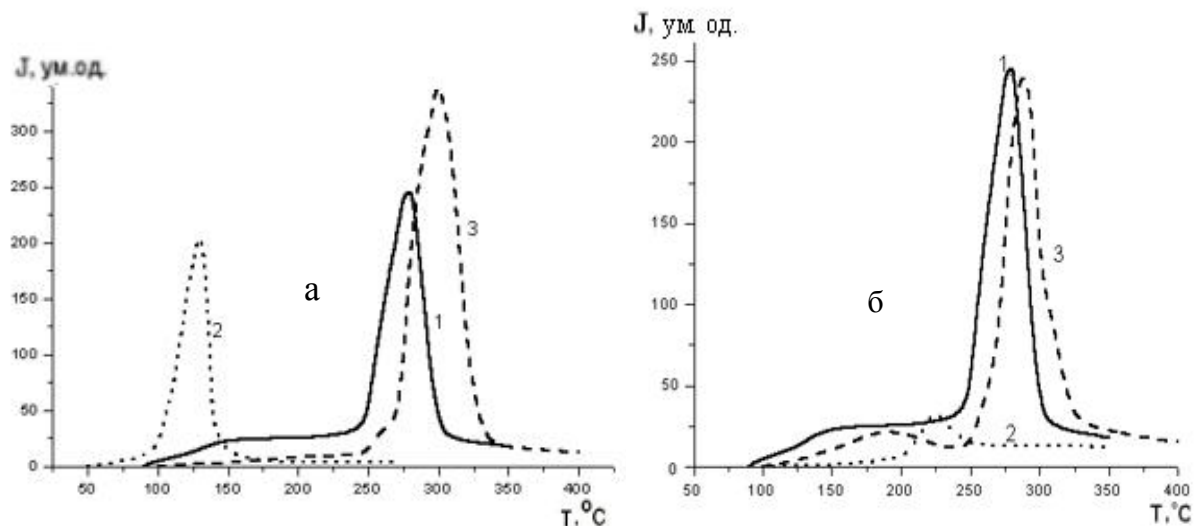


Рис. 1. Температурна залежність загального йонного струму виділення летких продуктів термодеструкції: *a* — 1 —  $\beta$ -ЦД-Si, 2 — 4-нітрофенолу, 3 — зразок 1 ( $\beta$ -ЦД-Si : 4-нітрофенол = 1:1); *б* — 1 —  $\beta$ -ЦД-Si, 2 — нільського блакитного, 3 — зразок 2 ( $\beta$ -ЦД-Si + нільський блакитний).

Т а б л и ц я 1

Температура розкладання ( $T$ ), загальний йонний струм ( $J$ ) та кількість йонних фрагментів ( $K$ ) при піролізі сілілірованого похідного  $\beta$ -циклодекстрину, 4-нітрофенолу, нільського блакитного та комплексів включення сілілірованого похідного  $\beta$ -циклодекстрину з 4-нітрофенолом (1:1) та нільським блакитним (1:2)

Об'єкт дослідження	$T$ , °C	$J$ , ум.од.	$K$ , од.
$\beta$ -ЦД-Si	150	25	16
4-Нітрофенол	130	205	32
Нільський блакитний	220	28	11
$\beta$ -ЦД-Si + 4-нітрофенол (зразок 1)	300	340	61
$\beta$ -ЦД-Si + нільський блакитний (зразок 2)	200	21	7
	290	242	25

У мас-спектрі даного об'єкту дослідження при 280 °C найбільшу питому інтенсивність мають йонні фрагменти з  $m/z = 75, 117$  та  $89$ , що пов'язані з деструкцією сілілірованих блоків (табл. 2). Далі по інтенсивності реєструються піки легких компонентів з  $m/z = 18, 43$  та  $73, 31$  та  $84$ , які є продуктами розпаду глюкопіранозних кілець. Таким чином, при піролізі сілілірованого похідного  $\beta$ -ЦД у вакуумі відбувається руйнування як кремнійвмісних груп  $\beta$ -ЦД-Si, так і глюкопіранозних кілець циклодекстрину.

4-Нітрофенол, як показано на рис. 1, *a* (крива

2), розкладається в діапазоні температур 100—140 °C з максимумом загального йонного струму ( $J=205$  ум.од.) при 130 °C (табл. 1). У мас-спектрі цієї речовини при даній температурі реєструються 32 йонних фрагмента, з яких найбільшу питому інтенсивність мають нітрофенол ( $m/z=139$ ) та циклопентадієнілкатіон ( $m/z=65$ ).

Аналіз температурної залежності виділення летких продуктів термодеструкції зразка 1 ( $\beta$ -ЦД-Si : 4-нітрофенол = 1:1) (рис. 1, *a*, крива 3) показує, що даний об'єкт дослідження зберігає термостабільність до 250 °C, тобто до цієї температури майже не відбувається виділення легких компонентів. У порівнянні з  $\beta$ -ЦД-Si максимум виділення газоподібних компонентів зміщується на 20 °C у більшу сторону, при цьому загальний йонний струм підвищується майже на 100 ум.од. (табл. 1). Між тим питома інтенсивність йонних фрагментів, які можна віднести до глюкопіранозних кілець циклодекстрину (від  $m/z=17$  до  $m/z=60$ ), або зменшується на 20—50 % (для легких фрагментів з  $m/z=17, 18, 28, 29, 31, 32, 44, 60$ ), або майже не змінюється (для легких фрагментів з  $m/z=39, 41, 43, 45, 53$ ) (табл. 2). В той же час спостерігається підвищення в 1.1—1.5 рази питомої інтенсивності легких компонентів, які можна віднести до кремнійвмісних фрагментів ( $m/z=75,$

Т а б л и ц я 2

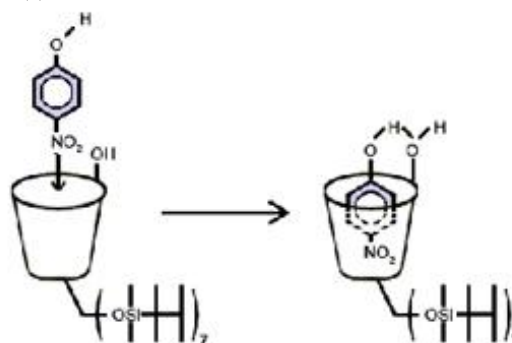
Вірогідний склад йонних фрагментів та інтенсивність їх виділення (*I*) при піролізі в мас-спектрах β-ЦД-Si, 4-нітрофенолу, нільського блакитного та комплексів включення сілірованого похідного β-циклодекстрину з 4-нітрофенолом (1:1) та нільським блакитним (1:2)

<i>m/z</i>	Йонний фрагмент	<i>I</i> ·10 <sup>4</sup> , ум. од.									
		β-ЦД-Si		4-НФ		β-ЦД-Si + 4-НФ		НБ		β-ЦД-Si + НБ	
		280 °C	130 °C	300 °C	220 °C	200 °C	290 °C				
15	CH <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.19	—	0.82	—	—	0.09				
16	CH <sub>4</sub>	—	—	—	1.13	—	—				
17	OH <sup>-</sup> , NH <sub>3</sub>	1.13	—	1.08	1.85	0.12	0.15				
18	H <sub>2</sub> O	7.27	0.37	6.50	2.45	1.85	2.21				
29	-C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> , CHO	2.04	0.13	1.28	—	—	0.45				
31	-CH <sub>2</sub> OH	3.23	—	2.21	—	—	0.73				
36	HCl	—	—	—	1.15	—	—				
39	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub>	0.34	7.76	0.42	—	—	—				
41	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub>	2.19	—	2.30	—	—	0.58				
43	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> , CH <sub>2</sub> CHO	5.56	—	5.45	—	—	1.39				
44	CO <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> CHO, CH <sub>2</sub> CHOH	1.61	—	1.55	—	—	0.15				
53	C <sub>4</sub> H <sub>5</sub>	—	1.96	—	—	—	—				
59	-Si(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> H	2.68	—	2.87	—	—	0.58				
60	O=CH-CH <sub>2</sub> OH	0.57	—	0.42	—	—	0.03				
63	HO-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> OH	—	1.96	—	—	—	—				
65	Циклопентадієніл-катіон	—	8.94	—	—	—	—				
69	C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> O	1.23	—	2.05	—	—	0.19				
73	-CH <sub>2</sub> -C-CH <sub>2</sub> OH	4.27	—	4.33	—	—	0.85				
75	OH-Si(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>-</sup> , -O-Si(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> H	12.62	—	14.31	—	1.29	3.88				
81	C <sub>6</sub> H <sub>9</sub>	—	1.72	0.10	—	—	—				
84	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	2.97	—	4.86	—	0.24	0.46				
89	-O-Si(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	3.56	—	3.76	—	—	0.54				
103	-CH <sub>2</sub> -O-Si(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1.03	—	1.13	—	—	—				
109	-O-C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OH	—	2.96	—	—	—	—				
117	-O-Si(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -C(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> H	10.17	—	10.71	—	—	1.68				
139	4-нітрофенол	—	10.09	—	—	—	—				

117, 103, 59, 89). Слід відмітити відсутність у мас-спектрі зразка 1 при температурі 300 °C йонних фрагментів, що характерні для 4-нітрофенолу, а саме легких фрагментів з *m/z*=53, 63, 65, 109, 139 (табл. 2). Аналізуючи дані ПМС, можна припустити, що молекули 4-НФ (“гостя”), міцно зв’язуючись з порожниною β-ЦД (“хазяїном”), вірогідно, послаблюють зв’язки С-О-Si, що і приводить до підвищення питомої інтенсивності сілільних фрагментів у мас-спектрі зразка 1.

Таким чином, одержані результати можна трактувати як наявність стійкого комплексу включення β-ЦД-Si з 4-НФ, що утворився, очевидно, за уча-

стю гідроксилів верхнього вінцю макроцикла β-ЦД-Si згідно зі схемою:



У свою чергу, термодеструкція барвника нільського блакитного відбувається в діапазоні температур 200—250 °С з максимумом загального йонного струму виділення легких продуктів при температурі 220 °С (рис. 1, б, крива 2). При цій температурі утворюються 11 йонних фрагментів з невеликим загальним йонним струмом 28 ум.од. (табл. 1). У мас-спектрі цієї речовини, знятому при даній температурі, найбільш інтенсивними є піки, які, виходячи з будови НБ, належать воді ( $m/z=18$ ), гідроксилам або аміаку ( $m/z=17$ ), хлористому водню ( $m/z=36$ ) та метану ( $m/z=16$ ) (табл. 2).

Термограма зразка 2 ( $\beta$ -ЦД-Si з нільським блакитним) відрізняється наявністю двох температурних областей газовиділення: перший при 150—225 °С (з максимумом при 200 °С) та другий при 250—325 °С (з максимумом при 290 °С) (рис. 1, б, крива 3). При цьому на першому максимумі виділяється всього 7 легких продуктів із загальним йонним струмом 21 ум.од. (табл. 1). Основним продуктом піролізу в першій температурній області є вода ( $m/z=18$ ), далі за інтенсивністю йде продукт з  $m/z=75$ , який відповідає кремнійорганічному фрагменту  $\beta$ -ЦД-Si, третім за інтенсивністю є легкий компонент з  $m/z=84$ , який, очевидно, можна ідентифікувати як циклопентанон (табл. 2). Тобто в даному температурному діапазоні реєструються газоподібні продукти, що характерні для мас-спектру  $\beta$ -ЦД-Si.

У порівнянні з вихідним  $\beta$ -ЦД-Si другий температурний максимум виділення легких фрагментів при піролізі зразка 2 зміщується на 10 °С у бік вищих температур. Водночас кількість йонних фрагментів, що утворюються при температурі максимуму (тобто при 290 °С), зменшується в 2.6 раза (табл. 1). Одержані результати можуть свідчити про більш міцні нековалентні зв'язки в зразку ( $\beta$ -ЦД-Si з НБ) у порівнянні з вихідним  $\beta$ -ЦД-Si. Слід відзначити відсутність у мас-спектрі хлористого водню, який є характерним для мас-спектру НБ.

Перелік 10 найбільш інтенсивних йонних фрагментів, які зареєстровані в мас-спектрах  $\beta$ -ЦД-Si при 280 °С, та зразка 2 при 290 °С практично однаковий. Між тим, як видно з табл. 3, питома інтенсивність легких продуктів у мас-спектрі зразка 2 набагато нижча, ніж в мас-спектрі  $\beta$ -ЦД-Si, причому незалежно від деструкції якого типу фрагментів  $\beta$ -ЦД-Si (глюкопіранозних кілець чи кремнійвмісних груп) вони утворились.

Аналізуючи наведені вище дані, можна при-

Т а б л и ц я 3

Питома інтенсивність йонних фрагментів ( $I$ ) у мас-спектрах  $\beta$ -ЦД-Si та зразка 2 ( $\beta$ -ЦД-Si з нільським блакитним)

$m/z$	$I$ , ум.од.		Показник зменшення $I_{\beta\text{-ЦД-Si}}/I_{\text{зразок 2}}$
	$\beta$ -ЦД-Si, 280 °С	Зразок 2, 290 °С	
17	11295	1521	7.43
18	72722	22112	3.29
29	20400	4468	4.57
31	32310	7324	4.41
43	55604	13864	4.01
59	26807	5849	4.58
73	42736	8469	5.05
75	126241	38802	3.25
84	29689	4595	6.46
89	35610	5372	6.63
117	101654	16764	6.06

пустити, що частина молекули нільського блакитного взаємодіє з гідрофобною порожниною сілілірованого  $\beta$ -ЦД, а інша частина НБ утворює зв'язки з кремнійвмісними групами  $\beta$ -ЦД-Si.

Таким чином, одержані результати свідчать про утворення у водному середовищі комплексів включення  $\beta$ -ЦД-Si з такими шкідливими для здоров'я людини органічними сполуками, як 4-нітрофенол та барвник нільський блакитний, і тому можна у подальшому припустити можливість використання сілілірованих похідних  $\beta$ -ЦД для сорбції згаданих токсикантів з водного середовища.

**РЕЗЮМЕ.** Аналіз температурної залежності інтенсивності виділення летучих продуктів піролізу силілірованого производного  $\beta$ -циклодекстрина с 4-нітрофенолом і красителем нільським голубим, состав ионных фрагментов, которые образуются при терморазложении образцов при разных температурах, их индивидуальная удельная интенсивность показали возможность образования в водной среде стойких комплексов включения между производным  $\beta$ -ЦД и 4-нітрофенолом, а также нільським голубим. Предложены возможные схемы образования комплексов включения между исследуемыми веществами.

**SUMMARY.** Thermal mass-spectrometry has been employed to investigate a process of thermal destruction of the inclusion complexes of  $\beta$ -cyclodextrin silyl-deriva-

tive with 4-nitrophenol and dye-Nilotic blue, accordingly. The decomposition behavior of both inclusion complexes under programmed temperature rise up to 400 °C has been studied.

1. *Szejtli J.* Cyclodextrin Technology. -Dordrech: Kluwer, 1988.
2. *Szejtli J.* // Chem. Rev. -1998. -**98**. -P. 1743—1753.
3. *Uekama K., Hirayama F., Irie T.* // Ibid. -1998. -**98**. -P. 2045—2076.
4. *Del Valle E.M.M.* // Proc. Biochem. -2004. -**39**. -P. 1033—1046.
5. *Shimpi S., Chauhan B., Shimpi P.* // Acta Pharm. -2005.

- 55**, № 2. -P. 139—156.
6. *Coleman A.W., Zhang P., Ling C.-C.* // Carbohydrate Res. -1992. -**224**. -P. 307—309.
7. *Dittmann H., Scharwachter K., Konig W.* // Ibid. -2000. -**324**. -P. 75—96.
8. *Герентьев П.Б.* Масс-спектрометрия в органической химии. -М.: Высш. шк., 1979.
9. *Хмельницкий Р.А., Лукашенко И.М., Бродский Е.С.* Пиролитическая масс-спектрометрия высокомолекулярных соединений. -М.: Химия, 1980.
10. *Гордон А., Форд Р.* Спутник химика / Пер. с англ. -М.: Мир, 1976.
11. *Каталог* сокращенных масс-спектров. -Новосибирск: Наука, 1981.

Інститут хімії високомолекулярних сполук  
НАН України, Київ

Надійшла 17.06.2009

УДК 678.02:678.664

**Т.Л. Малишева, С.В. Головань**

## **СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ В СУМІШАХ ПОЛІВІНІЛХЛОРИД—ПОЛІУРЕТАНОВИЙ ЕЛАСТОМЕР**

Досліджено вплив хімічної будови поліуретанових еластомерів на мікрофазову структуру і фізико-механічні властивості бінарних полімерних систем на основі полівінілхлориду в широкому діапазоні складів. Створені композиційні матеріали з підвищеними характеристиками міцності.

Структурні особливості полівінілхлориду і можливість модифікації хлорвмісного полімеру низькомолекулярними, олігомерними та високомолекулярними сполуками дозволяє створювати на його основі композиційні матеріали з широким діапазоном експлуатаційних властивостей [1]. Для поліпшення спеціальних властивостей матеріалу, таких як міцність, зносостійкість, еластичність, стійкість до багаторазових вигинів, в якості полімерного модифікатора використовують поліуретанові термоеластоласти [2]. Відомо [3], що мікрофазова сумісність полімерних компонентів у бінарній системі істотно залежить від хімічної будови поліуретанових еластомерів (ПУ). ПУ, синтезовані на основі олігоетерів, термодинамічно несумісні з хлорвініловим полімером і мікрогетерогенні композити характеризуються низькою міцністю в усьому діапазоні складів, що значно обмежує області їх застосування. Одним з ефективних методів поліпшення сумісності компонентів у бінарних полімерних сумішах та регулювання їхніх фі-

зико-механічних властивостей є введення в макроланцюг гомополімерів активних полярних груп, між якими утворюються різні міжмолекулярні взаємодії. Формування фізичної сітки водневих зв'язків у таких системах приводить до підвищення міжфазної адгезії, зменшення ступеня мікрофазового розділення компонентів і покращення деформаційно-механічних властивостей композитів.

Метою даного дослідження є встановлення впливу хімічної будови поліуретанових еластомерів на мікрофазову структуру і фізико-механічні властивості бінарних полімерних систем на основі полівінілхлориду в широкому діапазоні складів.

Поліуретановий еластомер ПУ-1 синтезували на основі олігооксипропіленгліколю молекулярної маси 1000 (ОПГ) і толуюлендіізоціанату (суміш 2.4 та 2.6 ізомерів ТДІ у співвідношенні 65:35) у масі за температури 353—358 К. Поліуретансечовини (ПУМ) з різною концентрацією жорстких сегментів ( $C_{ж.с.}$ ) у ланцюзі отримували на основі

© Т.Л. Малишева, С.В. Головань, 2009