

А. В. Стасюк, С. М. Капаціла, Я. Я. Курищук, В. Я. Самарик

Національний університет "Львівська політехніка",

кафедра органічної хімії

anna.v.stasiuk@lpnu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОЛІЗУ ЕТИЛФОСФАТНОЇ ГРУПИ ФОСФОРОВІСНИХ ПОЛІЕСТЕРІВ

<https://doi.org/10.23939/ctas2025.01.205>

Фосфоровмісні поліестери можуть бути використані у біомедичній галузі, оскільки володіють широким спектром властивостей. Наявність у структурі макроланцюга поліестера фосфатної групи робить їх придатними для іонного зв'язування органічних речовин, що проявляють основні властивості. Розроблено методику гідролізу етилфосфатної групи поліестеру, підтверджено виділення етанолу як побічного продукту реакції методом газової хроматографії, встановлено оптимальні умови проведення гідролізу бічного ланцюга поліестеру, зі збереженням основного ланцюга фосфоровмісного поліестеру.

Ключові слова: фосфоровмісні поліестери, кислотний гідроліз, фосфатна група.

Вступ

В останні роки полімери на основі фосфору були широко вивчені [1–4], оскільки вони демонструють дуже незвичайні та цікаві властивості [5]. Фосфоровмісні матеріали можуть бути використані для широкого спектру технологічних застосувань [6]. Наприклад, їх широко використовують у промисловості, зокрема для зв'язування металів [7–9]. Матеріали на основі фосфору демонструють комплексуювальні властивості, їх використовують як диспергатори, інгібітори корозії [10, 11]. Також вони беруть участь у вогнестійкості [12, 13], де фосфор, як відомо, особливо корисний. Важливе промислове застосування пов'язане з їх використанням у біомедичній галузі [14], оскільки вони біодеградабельні та біосумісні.

Для науковців значний інтерес представляють поліестери на основі дикарбонових α -амінокислот, також їх ще називають псевдополіамінокислотами [15–17]. Вони володіють певними вагами над синтетичними поліамінокислотами завдяки особливості їх структури, а саме з'єднання амінокислотних ланок у основному ланцюзі макромолекул через естерний зв'язок. Така структура забезпечує відсутність імунної відповіді з боку організму. Крім того, спорідненість до природних полімерів забезпечує біодеградабельність, біосумісність та нетоксичність [18].

В межах цього дослідження реалізовувалось завдання функціоналізувати поліестери, що отримані шляхом активованої поліконденсації за реакцією Стегліха на основі N-похідних глутамінової

кислоти з діолами поліоксietiленового ряду, в структуру яких попередньо було введено етилфосфатну групу. **Метою цієї роботи** є дослідження гідролізу етилфосфатної групи фосфоровмісних поліестерів, отриманих на основі мінової кислоти, що здатні зв'язувати органічні молекули, що виявляють властивості основ.

Матеріали та методи досліджень

Синтез фосфоровмісних поліестерів з етилфосфатною групою (ЕФП) проводили за методикою, наведеною в [19]. Структуру отриманих ЕФП підтверджували методами IR, NMR-спектроскопії.

Синтез фосфоровмісних поліестерів з фосфатною групою (ФП). У двогорлий реактор об'ємом 250 мл, оснащений магнітною мішалкою, крапельною лійкою та зворотним холодильником, завантажують 3 г фосфоровмісного поліестеру з етилфосфатною групою (ЕФП) та 40 г дистильованої води, створюючи концентрацію поліестера 70 мг/г розчину. Додають 0,1 н водний розчин HCl до водневого показника розчину в межах 2–3. Витримують реакційну суміш при 30 °C впродовж 1 години до приросту загальної кислотності за даними потенціометричного титрування $7,7 \times 10^{-4}$ г-екв/г. Для виділення фосфоровмісного поліестеру з фосфатною групою з водного розчину його тричі екстрагують хлороформом по 20 мл. Об'єднані екстракти хлороформу упарюють у вакуумі до постійної маси та отримують – 2,5 г фосфоровмісного

поліестера з фосфатною групою (вихід 80–90 %). Структуру отриманих ФП підтверджували методами IR, ^1H , ^{13}C , ^{31}P NMR спектроскопії.

Потенціометричний метод аналізу для визначення загальної кислотності фосфоровмісних поліестерів. Приблизно 0,1 г фосфоровмісного поліестеру (ЕФП чи ФП) зважували з точністю до 0,0001 г і диспергували у 5 мл дистильованої води. Титрували 0,05 N розчином NaOH, фіксуючи зміни показів pH з використанням pH-метра pH-150MI, який обладнаний комбінованим електродом ЕСК-10603/7.

Загальну кислотність (К, г-екв/г) фосфоровмісних поліестерів визначали за такою формулою:

$$K = (V(\text{NaOH}) \cdot C(\text{NaOH}) \cdot k) / (m_{\text{нав}} \cdot 1000),$$

де $V(\text{NaOH})$ – об'єм NaOH, що відповідає переходу потенціометричної кривої, мл; $C(\text{NaOH})$ – нормальність титранту натрію гідроксиду, моль/л; k – поправочний коефіцієнт на концентрацію натрію гідроксиду; $m_{\text{нав}}$ – маса наважки полімеру, який аналізували, г.

Хроматографічний аналіз використовували для визначення масового вмісту етанолу в реакційній суміші під час гідролізу етилфосфатної групи ЕФП методом відносного калібрування. Пробу реакційної суміші (по 1 мл) відбирали через задані проміжки часу та екстрагували однаковою кількістю хлороформу з міткою етанолу. Для приготування калібрувальних сумішей використовували етанол абсолютизований (понад 99 % об.). Хроматографічний аналіз виконували за газорідного хроматографа марки Сэлмхром-1. Умови хроматографії: термостат колонок – 70 °С; детектор – 140 °С; випарник – 150 °С; струм ДТП – 20 мА; напруга – 0 мВ.

Довжина колонки – 1 м. Адсорбент – CHROMATON NAW 0,125–0,160 мм (15 % carbowax 20M). Газ носій – гелій. Витрата газу – носія 2,5 л/год. Об'єм аналізованої проби становив 2 мкл. Внут-

рішній стандарт (мітка), який використовували в хроматографії, – ацетон.

ЯМР-спектроскопія. Спектри ^1H NMR зразків фосфоровмісних поліестерів отримували при 400 МГц на спектрометрі Bruker® при 25 °С у дейтерованому хлороформі (CDCl_3). Хімічні зсуви (δ) виражені в частках на мільйон (м. ч., або ppm) відносно Me_4Si . Віднесення сигналів спектрів проводили за таблицями характерних хімічних зсувів, наведених у [20], а також за допомогою спрогнозованих спектрів у програмному забезпеченні ACDLabs.

Результати досліджень та їх обговорення

У роботах [21, 22] описано спосіб отримання фосфоровмісних поліестерів при взаємодії N-похідних дикарбонових амінокислот з диполіетил-енглікольетилфосфатом за реакцією естерифікації Стегліха. У цій структурі, в її гідрофільному фрагменті, локалізована функційна група, що здатна, після гідролізу етилфосфатної групи, зв'язувати різні за типом органічні молекули, що проявляють властивості основ. Етилфосфатна група в структуру поліестера вводилась як попередник фосфатної групи. Введення одразу фосфатної групи могло би призвести до отримання розгалужених фосфоровмісних поліестерів, що є небажаним. Саме фосфатна група здатна до хемосорбції органічних сполук основної природи на макромолекулах поліестера. Синтезовані фосфоровмісні поліестери на основі N-стероїлглутамінової кислоти з діолами поліоксетиленового ряду, в структуру яких попередньо було введено етилфосфатну групу, містять у своїй структурі декілька естерних зв'язків в мономерній ланці ($-\text{CO}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$, $-\text{PO}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$, $-\text{PO}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$). Тому було досліджено спосіб гідролізу етилфосфатної групи до фосфатної за схемою, наведеною на рис. 1.

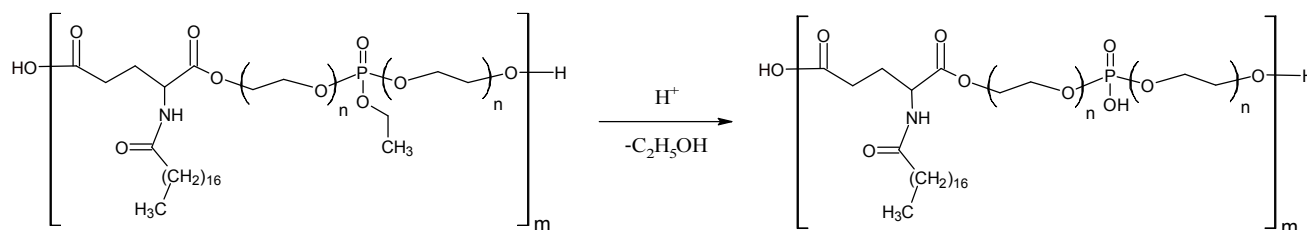


Рис. 1. Схема гідролізу етилфосфатної групи фосфоровмісних поліестерів з одержанням фосфатної групи поліестерів

За даними [23] швидкість гідролізу естерних груп різної природи поліестера залежить від рН середовища. У кислому середовищі швидкість гідролізу етилфосфатної групи відбувається значно швидше, ніж естерних груп основного ланцюга поліестера. В лужному середовищі, навпаки, спостерігається висока швидкість реакції гідролізу естерних груп різної природи. В цьому випадку це призведе до руйнування основного ланцюга поліестера. А такий процес є небажаним для досягнення поставленого завдання.

Гідроліз етилфосфатної групи фосфоровмісних поліестерів проводили у водному середовищі в діапазоні рН від 2 до 3 залежно від співвідношення кількості хлоридної кислоти до етилфосфатних груп. Як каталізатор використовували хлоридну кислоту. Дослідження проводили при температурах 30, 60 та 80 °C для визначення максимальної температури, при якій гідроліз естерних груп основного ланцюга відбувається з мінімальною швидкістю. За повнотою перебігу реакції гідролізу етилфосфатної групи контролювали за приростом кислотності реакційної суміші (потенціометричним аналізом). Крім того, для підтвердження виділення етилового спирту під час реакції гідролізу етилфосфатної групи було проведено хроматографічне визначення його кількості в реакційній суміші.

На рис. 2 наведені кінетичні криві гідролізу етилфосфатної групи поліестерів, отримані потенціометричним аналізом, розрахованих на конверсію етилфосфатних груп, при температурі 30 (рис. 2, крива 3), 60 (рис. 2, крива 2) та 80 °C (рис. 2, крива 1). В такому випадку перевищення конверсії вище 100 %, за даними потенціометричного аналізу, засвідчує гідроліз не лише етилфосфатних груп поліестера, але й карбоксильних груп основного ланцюга. Барями на цьому рисунку наведено значення конверсії, що оцінена за концентрацією етилового спирту в реакційній суміші відповідно до даних хроматографічного аналізу.

З отриманих даних можна виділити такі спостереження. По-перше, в умовах, що досліджується, відбувається гідроліз і етилфосфатних груп поліестера, і естерних груп з різними швидкостями. При тому гідроліз фосфатних груп відбувається дуже швидко, що особливо помітно на кривій 1 (рис. 2), яка отримана при температурі гідролізу 80 °C. В цих умовах гідроліз етилфосфатних груп відбувається швидко, до 30 хвилин. Але в цей же час відбувається гідроліз естерних груп, при тому із значно вищою швидкістю.

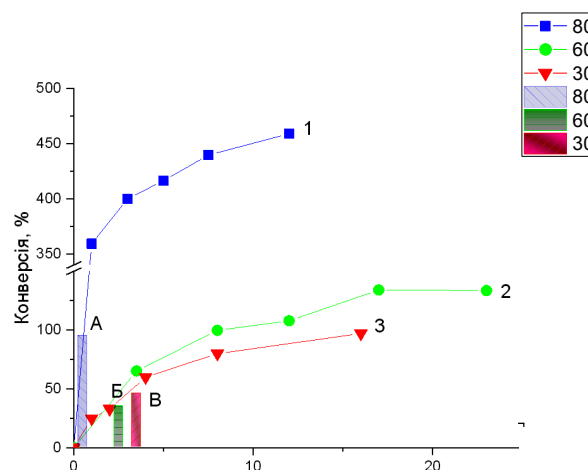


Рис. 2. Залежність конверсії фосфатних груп поліестерів від температури та часу.

При температурі: червоний – 30 °C, зелений – 60 °C, синій – 80 °C. Бари – дані хроматографічного аналізу, кінетичні криві – дані потенціометричного аналізу

При проведенні реакції гідролізу ЕФП при температурі 60 °C (рис. 2, крива 2) гідроліз етилфосфатної групи поліестеру також відбувається достатньо швидко, а естерних груп значно сповільнюється. Незначний вплив гідролізу по естерних групах підтверджується також і тим, що при температурі гідролізу 30 °C (рис. 2, крива 3) отримана крива близька до 60 °C (рис. 2, крива 2).

Співставлення конверсії за приростом кислотності (рис. 2 криві 1–3) та концентрації етанолу в реакційному середовищі (рис. 2, бари А, Б, В) підтверджує перебіг гідролізу етилфосфатних груп поліестеру. При температурах 30 (рис. 2, крива 3, бара В) і 60 °C (рис. 2, крива 2, бара Б) спостерігали задовільне співпадіння цих величин. У цьому випадку можна стверджувати, що в основному відбувається гідроліз етилфосфатних груп поліестеру. В тому випадку, якщо конверсія фосфатних груп, визначена за даними хроматографічного аналізу (рис. 2, бара А), менша від конверсії, визначеної за приростом кислотності (рис. 2, крива 1), то це засвідчує перебіг гідролізу естерних груп основного ланцюга, що спостерігається при температурі 80 °C.

Відмінності між структурами фосфоровмісних поліестерів з етилфосфатною групою та її гідролізованою фосфатною групою є незначними, тому підтвердження зміни структури після гідролізу методами ЯМР-спектроскопії є утрудненим. Для прикладу, на рис. 3 наведені ЯМР-спектри фосфоровмісних поліестерів з етилфосфатною групою (рис. 3, а) та після гідролізу (з фосфатною групою) (рис. 3, б).

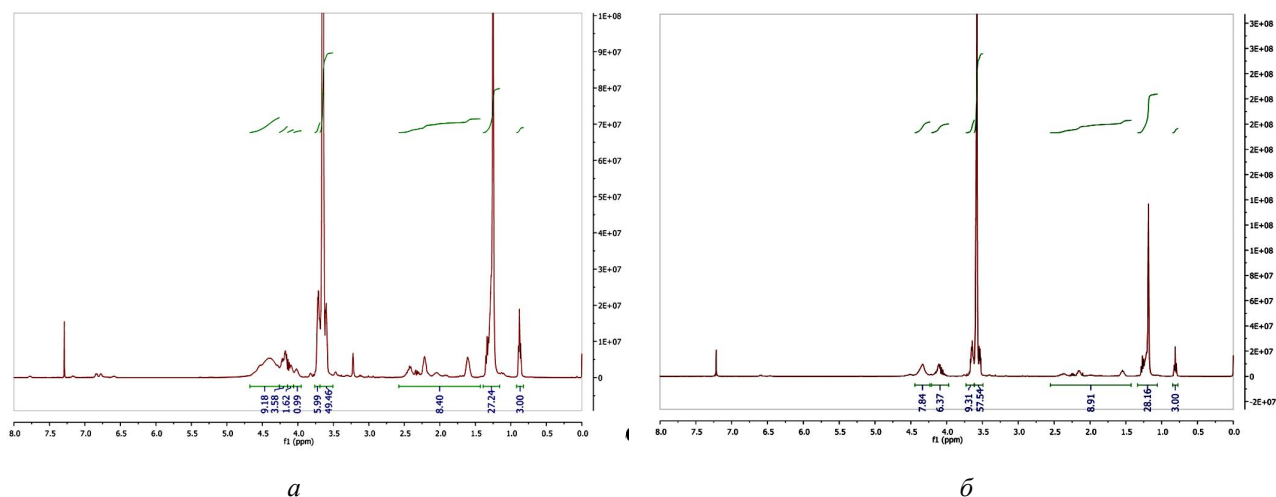


Рис. 3. ЯМР-спектри фосфоровмісних поліестерів:
а – з етилфосфатною групою; б – фосфатною групою

Порівняльні дані зразків поліестерів до і після гідролізу етилфосфатної групи

№ з/п	Зразки	Значення інтегралу у діапазоні:			Умови синтезу	Приріст кислотності	Початкова кислотність
		3,54–3,66 м.ч.	3,66–3,80 м.ч.	4,85–4,15 м.ч.			
1	AS-43	56,08	6,65	7,4	Співвідношення СООН/ОН - 10/9, ПЕГ-400, розчинник – диметилформамід	–	9,19E-04
2	ASh-43	18,89	2,74	1,38	Тривалість – 4 год, температура – 80 °С	1,95E-04	–
3	AS-483	49,46	5,99	9,18	Співвідношення СООН/ОН - 10/9, ПЕГ-400, розчинник – дихлорметан	–	9,19E-04
4	ASh-483	54,18	10	7,47	Тривалість – 1,5 год, температура – 30 °С	7,27E-05	–
5	AS-65	79,63	6,26	1,27	Співвідношення СООН/ОН – 9/8, ПЕГ – 600, розчинник – диметилформамід	–	9,23E-04
6	ASh-650	82,78	7,31	16,48	Тривалість – 21 год, температура – 80 °С	6,32E-04	–
7	ASh-651	73,65	7,11	12,92	Тривалість – 0,5 год, температура – 80 °С	2,78E-04	–
8	ASh-652	37,82	3,17	6,83	Тривалість – 5 год, температура – 80 °С	2,39E-04	–
9	AS-660	78,45	6,48	10,85	Співвідношення СООН/ОН - 9/8, ПЕГ-600, розчинник – дихлорметан	–	8,14E-04
10	ASh-660	57,07	5,93	10,55	Тривалість - 1 год, температура – 30 °С	2,13E-03	–

На ЯМР спектрі в діапазоні 1,0–1,4 м.ч., де проявляються сигнали від метильної групи етилфосфату та метиленових груп стероїлового фрагменту, спостерігається зміна інтегралу щодо сигналу метильної групи стероїлового фрагменту в діапазоні 0,8–0,9 м.ч. Проте така зміна на рівні точності аналізу не може підтвердити, чи всі етилфосфатні групи були гідролізовані. В діапазоні 4,85–4,15 м.ч. проявляються сигнали, які належать групі $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-$; в діапазоні 3,66–3,8 – групі $-\text{CO}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$, в діапазоні 3,54–3,66 – групі $-\text{PO}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$. При аналізі інтегралів цих діапазонів щодо сигналів зразків фосфоровмісних поліестерів до гідролізу можна зробити висновок про збереження основного ланцюга фосфоровмісних поліестерів. У таблиці наведені значення інтегралів у наведених діапазонах ЯМР-спектру, умови синтезу зразків поліестерів з етилфосфатною групою та умови гідролізу етилфосфатної групи.

В таблиці п.п. 1 (AS-43), п.п. 3 (AS-483), п.п. 5 (AS-65) і п.п. 9 (AS-660) – зразки поліестерів до гідролізу етилфосфатної групи. Зразок п.п. 2 (див. таблицю) – поліестер гідролізований при температурі 80 °C упродовж 4 годин. Значення інтегралів в діапазонах 3,54–3,66, 3,663,8 та 4,85–4,15 м.ч., наведених в таблиці, зразка поліестера після гідролізу п.п. 2 (ASh-43) порівняно зі зразком тера до гідролізу п.п. 1 (AS-43) зменшилось втричі. Це свідчить про гідроліз основного ланцюга поліестеру, що підтверджуються даними потенціометричного та хроматографічного аналізу. Зразок п.п. 4 (див. таблицю) (AS-483) поліестеру гідролізований при температурі 30 °C впродовж 1,5 години. Значення інтегралів в цих же діапазонах, наведених в таблиці, зразка поліестера після гідролізу п.п. 4 (ASh-483) відносно зразка поліестера до гідролізу п.п. 3 (AS-483) практично не змінилось, що свідчить про збереження основного ланцюга поліестеру при наведених умовах. Аналогічні дані отримано на зразках п.п. 10 (ASh-660) порівняно зі зразками поліестера п.п. 9 (див. таблицю) (AS-660).

Зразки п.п. 6 (AS-650), 7 (AS-651), 8 (AS-652) (див. таблицю) гідролізовані при температурі 80 °C впродовж 21, 0,5 та 5 годин відповідно. Значення інтегралів в діапазонах 3,54–3,66, 3,663,8 та 4,85–4,15 м.ч., наведених в таблиці, перелічених зразків свідчать, що навіть при тривалості гідролізу впродовж 30 хв відбувається швидкий гідроліз естерних і фосфатних зв'язків основного ланцюга поліестеру (AS-65). Такий ж висновок підтверджується при аналізі цих зразків потенціометричним і хроматографічним аналізом.

Висновки

У ході виконання роботи проведено дослідження гідролізу етилфосфатної групи фосфоровмісних поліестерів, які отримані на основі N-стероїлглутамінової кислоти з діолами поліоксетиленового ряду, в структуру яких попередньо було введено етилфосфатну групу. За розробленою методикою реакції гідролізу етилфосфатної групи зі складу фосфоровмісних поліестерів досягається необхідна конверсія. Гідроліз етилфосфатних груп проводять у водному середовищі в діапазоні pH 2–3, при температурі в межах 30–60 °C. За цих умов досягається більший контроль глибини гідролізу етилфосфатних груп за допомогою потенціометричного методу аналізу і необхідна конверсія етилфосфатних груп при збереженні естерних груп основного ланцюга фосфоровмісних поліестерів.

Подяка

Представлені результати дослідження отримані за грантового фінансування Національного фонду досліджень України в рамках конкурсу “Дослідницькі інфраструктури для проведення передових наукових досліджень” в рамках проєкту 2023.05/0015 “Розробка гідрогелевих засобів надання невідкладної допомоги при проникних пораненнях черевної порожнини в межах діяльності центру досліджень нових полімерних матеріалів для медицини”.

References

1. Teasdale, I. (2018). Stimuli-responsive phosphorus-based polymers. *European Journal of Inorganic Chemistry*, 2019(11–12), 1445–1456. <https://doi.org/10.1002/ejic.201801077>.
2. Strasser, P., & Teasdale, I. (2020). Main-chain phosphorus-containing polymers for therapeutic applications. *Molecules*, 25(7), 1716. <https://doi.org/10.3390/molecules25071716>.
3. Hong, Y.-L., Liu, Y., Wang, C., Fang, X.-Q., Yang, F., Tan, Z.-W., & Liu, C.-M. (2023). Progress in the preparation of phosphorus-containing polymers via phosphorus trichloride-free routes. *European Polymer Journal*, 195, 112242. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112242>.
4. Wehbi, M., Mehdi, A., Negrell, C., David, G., Alaaeddine, A., & Améduri, B. (2019). Phosphorus-containing fluoropolymers: State of the art and applications. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(1), 38–59. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b16228>.
5. Singh, I., & Sivaramakrishna, A. (2024). Phosphorus-based polymeric flame retardants – recent advances and perspectives. *ChemistrySelect*, 9(26). <https://doi.org/10.1002/slct.202401485>.

6. Puziy, A. M., Poddubnaya, O. I., Gawdzik, B., & Tascón, J. M. D. (2020). Phosphorus-containing carbons: Preparation, properties and utilization. *Carbon*, 157, 796–846. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.10.018>.
7. Telegdi, J. (2022). History of phosphorus-containing corrosion inhibitors: From the beginning till the present time. *Water-Formed Deposits*, 49–68. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822896-8.00004-2>.
8. Giusti, L., Landaeta, V. R., Vanni, M., Kelly, J. A., Wolf, R., & Caporali, M. (2021). Coordination Chemistry of Elemental Phosphorus. *Coordination Chemistry Reviews*, 441, 213927. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.213927>.
9. Cui, J., Zhang, Y., Wang, L., Liu, H., Wang, N., Yang, B., Guo, J., & Tian, L. (2019). Phosphorus-containing salen-ni metal complexes enhancing the flame retardancy and smoke suppression of epoxy resin composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(21). <https://doi.org/10.1002/app.48734>.
10. Liu, Y., & Zhang, P. (2022). Review of phosphorus-based polymers for mineral scale and corrosion control in oilfield. *Polymers*, 14(13), 2673. <https://doi.org/10.3390/polym14132673>.
11. Matczak-Jon, E., & Videnova-Adrabińska, V. (2005). Supramolecular chemistry and complexation abilities of diphosphonic acids. *Coordination Chemistry Reviews*, 249(21–22), 2458–2488. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2005.06.001>.
12. Jiang, Y., Yan, P., Wang, Y., Zhou, C., & Lei, J. (2018). Form-stable phase change materials with enhanced thermal stability and fire resistance via the incorporation of phosphorus and Silicon. *Materials & Design*, 160, 763–771. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.10.020>.
13. Zhang, C., Jiang, Y., Li, S., Huang, Z., Zhan, X.-Q., Ma, N., & Tsai, F.-C. (2022). Recent trends of phosphorus-containing flame retardants modified polypropylene composites processing. *Heliyon*, 8(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11225>.
14. Wu, J., Xu, R., Shao, M., Zhao, L., Xu, W., & Guo, Y. (2024). Phosphorus-based nanomaterials for biomedical applications: A Review. *ACS Applied Nano Materials*, 7(10), 11022–11036. <https://doi.org/10.1021/acsanm.4c00015>.
15. Varvarenko, S., Tarnavchyk, I., Voronov, A., Fihurka, N., Dron, I., Nosova, N., ... Voronov, S. (2013). Synthesis and colloidal properties of polyesters based on glutamic acids and glycols of different nature. *Chemistry and Chemical Technology*, 7(2), 161–168. <https://doi.org/10.23939/chcht07.02.161>.
16. Gohil, S. V., Suhail, S., Rose, J., Vella, T., & Nair, L. S. (2017). Polymers and composites for orthopedic applications. In *Materials for Bone Disorders* (p. 349–403). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802792-9.00008-2>.
17. Karahan, M. (Ed.). (2021). Synthetic Peptide Vaccine Models: Design, Synthesis, Purification and Characterization. *CRC Press*.
18. Varvarenko, S. M., Nosova, N. H., Dron, I. A., Voronov, A. S., Fihurka, N. V., Tarnavchyk, I. T., ... & Voronov, S. A. (2013). Novi amfifilni aminofunktsiini poliesteri ta dyspersni systemy na yikh osnovi. *Voprosy khymiy y khymicheskoi tekhnolohiy*, (5), 27–32.
19. Stasiuk, A. V., Prychak, S. P., Fihurka, N. V., Varvarenko, S. M., Samaryk, V. Ia. (2021). Syntez fosforovmisnykh psevdopoliaminokyslot poliesterneho typu. *Khimiia, tekhnolohiia rechovyh ta yikh zastosuvannia*, 4(1), 224–229. <https://doi.org/10.23939/ctas2021.01.224>.
20. NMR spectroscopy: Chemical Shift Overview. (2024). *MyJoVE Corporation*.
21. Stasiuk, A. V., Fihurka, N. V., Tarnavchyk, I. T., Nosova, N. G., Pasetto, P., Varvarenko, S. M., & Samaryk, V. Y. (2022). Influence of structure and nature of pseudo-poly(amino acid)s on size and morphology of their particle in self-stabilized aqueous dispersions. *Applied Nanoscience*. <https://doi.org/10.1007/s13204-022-02664-7>.
22. Stasiuk, A., Fihurka, N., Vlizlo, V., Prychak, S., Ostapiv, D., Varvarenko, S., & Samaryk, V. (2022). Synthesis and properties of phosphorus-containing pseudo-poly(amino acid)s of polyester type based on n-derivatives of glutaminic acid. *Chemistry & Chemical Technology*, 16(1), 51–58.
23. Bauer, K. N., Tee, H. T., Velencoso, M. M., & Wurm, F. R. (2017). Main-chain poly (phosphoester) s: History, syntheses, degradation, bio- and flame-retardant applications. *Progress in Polymer Science*, 73, 61–122. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2017.05.004>.

A. V. Stasiuk, S. M. Kapatsila, Y. Y. Kuryshchuk, V. Y. Samaryk

Lviv Polytechnic National University,
Department of Organic Chemistry

RESEARCH ON HYDROLYSIS OF THE ETHYLPHOSPHATE GROUP OF PHOSPHORUS-CONTAINING POLYESTERS

Phosphorus-containing polyesters can be used in the biomedical field, as they have a wide range of properties. The presence of a phosphate group in the structure of the polyester macrochain makes them suitable for ionic binding of organic substances that exhibit basic properties. A method for hydrolysis of the ethyl phosphate group of polyester had been developed, the isolation of ethanol as a by-product of the reaction had been confirmed by gas chromatography, and optimal conditions for hydrolysis of the polyester side chain had been established, while preserving the main chain of the phosphorus-containing polyester.

Keywords: phosphorus-containing polyesters, acid hydrolysis, phosphate group.