

УДК 665.372;661.185

*Л.Ю. Бодачівська***БІОРОЗЩЕПЛЮВАНІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ З ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ ВИРОБНИЦТВА РОСЛИННИХ ОЛІЙ У ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ****Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України, м. Київ, Україна**

В даній роботі фізико-хімічними методами досліджено будову поверхнево-активних речовин, синтезованих з побічних продуктів виробництва рослинних олій, а саме сировини, що не конкурує з харчовою продукцією: фосфатидних концентратів низької вартості, які можливо використовувати для хімічної трансформації. Спектральними методами встановлено, що у моноетаноламідів жирних кислот фосфатидного концентрату відсутні залишкові кількості вихідних фосфатидів чи ацилгліцеролів, а також чітко відображені крос-піки між амідною групою та прилеглою метиленовою групою, що свідчить про високу конверсію субстрату і додатково підтверджує проходження реакції амидування. Основним ацильним залишком синтезованих поверхнево-активних речовин є вуглеводневий ланцюг лінолевої кислоти, проте виявлення метиленових груп біля подвійних зв'язків свідчить про наявність інших жирних кислот (олеїнової, ліноленої і гадолеїнової), що, власне, відповідає жирнокислотному складу вихідного фосфатидного концентрату. Синтезовані поверхнево-активні речовини є ефективними емульгаторами-стабілізаторами дисперсних систем. Застосування екологічно безпечних компонентів у складі поверхнево-активних речовин покращує їх біорозщеплюваність до 83–86%.

**Ключові слова:** синтез, фосфатидний концентрат, поверхнево-активні речовини, будова речовин, дисперсні системи.

**DOI:** 10.32434/0321-4095-2022-145-6-3-11

**Вступ**

Поверхнево-активні речовини (ПАР) на біологічній основі є об'єктом підвищеної уваги дослідників, оскільки вони характеризуються не лише покращеною біорозщеплювальністю і безпечністю для навколишнього середовища, а й специфічними властивостями, зумовленими різними способами упакування молекул в процесі самоорганізації, а відтак високою сольобілізуючою та структуруючою здатністю. Завдяки цим особливостям ПАР є ефективними емульгаторами-стабілізаторами інвертних емульсій, які використовуються як компоненти бурових розчинів, інтенсифікації видобутку вуглеводневої сировини, антиокислювальними і трибологічними додатками до мастильних матеріалів тощо. У зв'язку з цим, встановлення залежності властивостей ПАР від їх хімічної будови і структури, є

запорукою подальшого спрямованого синтезу речовин з практичним використанням.

Роботи [1–4] продемонстрували, що на даній час розроблено багато поверхнево-активних речовин на основі рослинних олій. Вони різняться за властивостями, хімічним складом, функціональними можливостями та ринковою вартістю. Наприклад, серед вітчизняних відомих біоПАР: оксіетильовані жирні спирти (синтанолі, препарати ОС), оксіетильовані жирні кислоти (стеарокс, жиринокс, ріпокс, ріцинокс), поліетиленгліколеві естери жирних кислот та багатоатомних спиртів (Твін-80), катіонний жир (алкілоламіди кислот ріпакової олії), тощо.

Проблема полягає в тому, що дані поверхнево-активні речовини в основному виробляються з харчових олій. Тому основна увага приділяється валоризації неконкурентоспроможних

© Л.Ю. Бодачівська, 2022



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*Biodegradable surfactants from side streams of the vegetable oils production in technical systems*

побічних потоків виробництва та споживання олій і жирів, які сумісні з екологічними вимогами до технічних систем і матеріалів поєднанням олеохімічного синтезу багатофункціональних хелатоутворюючих ПАР.

Авторами робіт [5–7] визначено потенційну сировину для синтезу ПАР, що не конкурує з харчовою продукцією і може бути альтернативою застосуванню олій. Це фосфатидні концентрати, побічні продукти виробництва рослинних олій низької вартості, які можна використовувати для хімічної трансформації.

Також деталізовано описано методи синтезу, властивості та сфери застосування ПАР. Показано, що поверхнево-активні речовини можна одержати трансамідуванням фосфатидного концентрату (біоПАР) амінами різної основності [7–10]. Встановлено, що одержані алкілоламідні жирних кислот мають високу поверхневу активність на межі поділу фаз і створюють щільні поверхневі моно-, а іноді і полішари міцного водневого зв'язку N–H...O=C між амідними групами. Така самоорганізація між фазовими поверхнями забезпечує різноманітні функції, наприклад: колоїдну стабільність емульсій, високі змащувальні, антикорозійні, антиокислювальні, бактерицидні, гідрофобізуючі та адгезійні властивості. В цих працях досліджено наявність відповідних функціональних груп методами ІЧ-спектроскопії та елементним аналізом, але без повного доведення будови алкілоламідів жирних кислот на основі фосфатидного концентрату.

Метою цієї роботи є доведення будови та властивостей синтезованих біоПАР з побічних продуктів вітчизняної олійної сировини з характеристиками, що відповідають підвищеним екологічним вимогам і створення з їх використанням нових композиційних матеріалів для розв'язання практичних завдань сьогодення.

#### **Експериментальна частина**

##### *Матеріали*

В роботі використано фосфатидний концентрат (ФК) від очищення соняшникової олії виробництва Запорізького масложирового комбінату, за СОУ 15.4-37-212-2004 «Концентрати фосфатидні. Технічні умови». Це в'язкий продукт темно-коричневого кольору із суміші фосфатидів (51,7%), олії (46,8%), естеронерозчинних речовин (1,2%) та залишкової вологості (0,3%), який добре розчиняється у вуглеводнях і утворює емульсії з водою та водно-олійними сумішами. Моноетаноламін (МЕА) та кальцій оксид були придбані в Хімлаборрекатив (Україна).

##### *Аналітичні методи*

Будову синтезованих речовин встановлювали за допомогою ІЧ- та ЯМР-спектроскопії. Одновимірні ( $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ) та двовимірні (COSY, HSQC, HMBC) ЯМР спектри записували на приладі Bruker AVANCE DRX-500, використовуючи дейтерохлороформ ( $\text{CDCl}_3$ ), як розчинник ( $^1\text{H}$ :  $\delta=7,26$  мільйонних часток (м.ч.);  $^{13}\text{C}$ :  $\delta=77,0$  м.ч.). Дейтерохлороформ обрано як розчинник для аналізів, оскільки в ньому погано розчиняються гліцеролфосфатиди і гліцерин (продукти перетворення фосфатидного концентрату), що виключить можливу інтерференцію цих речовин із цільовими продуктами.

Реєстрацію ІЧ-спектрів виконували на поверхні алмазної призми ІЧ-спектрометра з Фур'є-перетворенням Shimadzu IRAffinity-1Sn (Японія) з АTR-приставкою Speacac GS 10801-B.

Властивості синтезованих ПАР та матеріалів на їх основі вивчали стандартизованими методами: термостабільність, добова стійкість до розшарування, в'язкість, густина – за РД 39-2-645-81, зовнішній вигляд – за ГОСТ 6243-75. Колоїдно-хімічні дослідження здійснювали загальновідомими методами, зокрема поверхневий натяг розчинів ПАР на межі поділу з повітрям, методом відриву пластини (метод Вільгельмі). Обробку результатів експериментальних вимірювань виконували методами математичної статистики у програмі MS Excel.

Біорозщеплюваність, екологічний показник, оцінювали за ДСТУ 4247:2003 (СЕСЛ 33-А-93). Суть методу полягає у співставленні ІЧ-спектрів емульсійних систем, витриманих у мінералізованому водному розчині з інокулянтом упродовж 21 доби в аеробних умовах, та порівнянні ступеня біорозщеплюваності відносно контрольного матеріалу RL 130.

Для дослідження емульгуючої й стабілізуючої дії синтезованих ПАР розроблено інвертні емульсійні системи. Розроблені емульсії одержували шляхом інтенсивного механічного перемішування. Для цього ПАР вносили в дисперсійне середовище (етиловий естер вищих жирних кислот олій), у разі потреби підігрівали та збовтували до утворення прозорого розчину. На наступному етапі в систему поступово додавали мінералізовану воду (дисперсна фаза) й перемішували суміш зі швидкістю 3000–5000 об./хв упродовж 1–2 хв.

##### *Синтетичні методи*

Трансамідування ФК для синтезу ПАР виконували моноетаноламіном (МЕА) під дією кальцію гідроксиду як каталізатора, за мольного

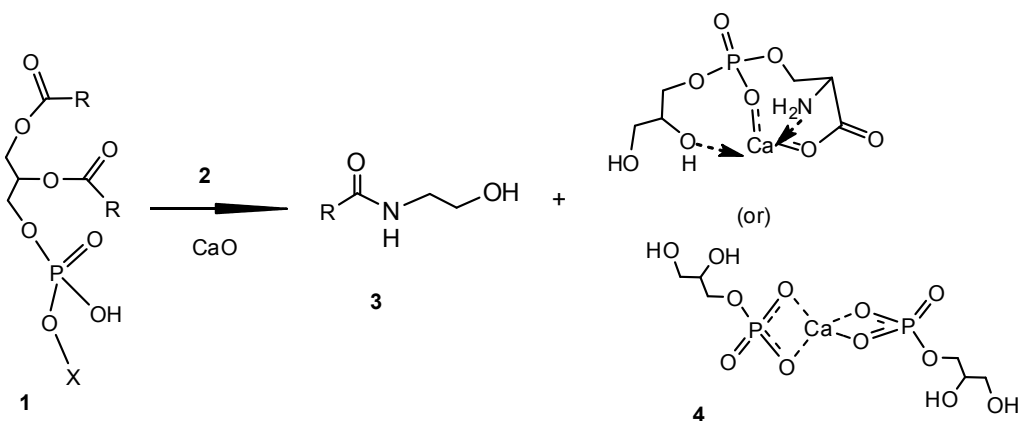


Рис. 1. Схема перетворення фосфоліпідів в біоПАР: 1 – фосфатиди; 2 – моноетаноламін; 3 – моноетаноламід жирних кислот фосфатидного концентрату; 4 – гліцеролфосфатиди кальцію; R – залишки жирних кислот; X=H – залишок серину або холіну, коламіну

співвідношення ФК:МЕА:Ca(OH)<sub>2</sub>=0,1:0,3:0,04 (рис. 1). Синтез і виділення продукту виконували аналогічно методу, описаному в роботі [7]. Схема реакції наведена на рис. 1.

Розшифровка ЯМР спектрів виділеного продукту наступна: <sup>1</sup>H ЯМР (CDCl<sub>3</sub>, 500 МГц): δ=0,87 (мультиплет, 3H, CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>), 1,33 (мультиплет, 16H, –CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>– та –CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>), 1,61 (мультиплет, 2H, –CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>C=O), 2,02 (мультиплет, 3H, =CHCH<sub>2</sub>–), 2,20 (триплет, 2H, –CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>C=O), 2,76 (триплет, 2H, =CHCH<sub>2</sub>CH=), 3,26 (широка смуга, 1H, O–H), 3,41 (квартет, 2H, CH<sub>2</sub>–N), 3,71 (триплет, 2H, CH<sub>2</sub>–O), 5,34 (мультиплет, 3H, HC=CH), 6,02 (широка смуга, 1H, N–H); <sup>13</sup>C ЯМР (CDCl<sub>3</sub>, 125 МГц): δ=14,1; 22,7; 25,8; 27,3; 29,2; 29,7; 31,6; 32,0; 36,7; 42,5; 62,4; 128,1; 130,1; 174,6.

#### Результати та обговорення

В даній роботі виконаний безпрецедентний структурний аналіз похідних алкілоламідів з фосфоліпідів методами одновимірної (<sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C) та двовимірної (COSY, HSQC, HMBSC) ЯМР спектроскопії. Повна розшифровка спектрів наведена на рис. 3–7 із нумерацією піків продуктів відповідно до рис. 2.

Першочергово встановлено, що у ЯМР спектрах моноетаноламідів жирних кислот фосфатидного концентрату відсутні залишкові кількості вихідних фосфатидів, чи ацилгліцеролів (ФК містить певну кількість триацилгліцеролів), що свідчить про високу конверсію субстрату (рис. 3–7). З іншого боку, на <sup>1</sup>H та <sup>13</sup>C ЯМР спектрах з'являється характерний пік для амідного зв'язку (<sup>1</sup>H ЯМР: 6,02 м.ч., N–H; <sup>13</sup>C ЯМР: 17,6 м.ч., C(O)NH), що вказує на цільове перетворення (рис. 3, 4). В <sup>1</sup>H ЯМР спектрах також залишається вільна гідроксильна група за 3,26 м.ч.

(O–H) (рис. 3), що підтверджує саме утворення алкілоламідів за підібраних умов каталітичної реакції, а не естероамінів жирних кислот, як інколи зустрічається в літературних джерелах [11,12]. В ЯМР спектрах COSY та HMBSC (рис. 5, 7), чітко відображені крос-піки між амідною групою та прилеглою метиленою групою, що додатково підтверджує перебіг амідування, а не етерифікації моноетаноламіну (в спектрі відмічені лише ті крос-піки, що важливі для безпрецедентного доведення будови).

З результатів інтегрування <sup>1</sup>H ЯМР спектру виявлено, що основним ацильним залишком синтезованого продукту є вуглеводневий ланцюг лінолевої кислоти, як видно із присутності піка 2,76 (триплет, 2H, =CHCH<sub>2</sub>CH=) (рис. 3). Проте відхилення інтегрування піків від теоретичною для лінолевої кислоти, а саме подвійних зв'язків за 5,34 м.ч. (мультиплет, 3H, HC=CH), метиленових груп в α-положенні біля подвійних зв'язків за 2,02 м.ч. (мультиплет, 3H, =CHCH<sub>2</sub>–), та інших метиленових груп за 1,33 м.ч. (мультиплет, 16H, –CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>– та –CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>) свідчить про наявність інших жирних кислот у продукті.

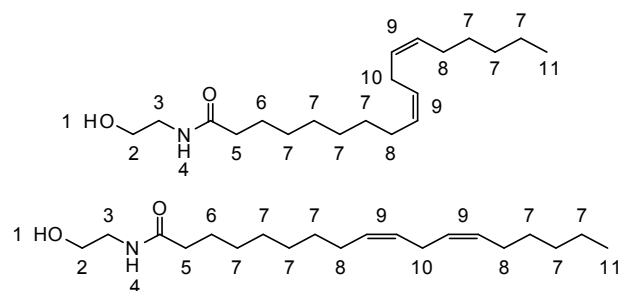


Рис. 2. Будова синтезованих моноетаноламідів жирних кислот фосфатидного концентрату



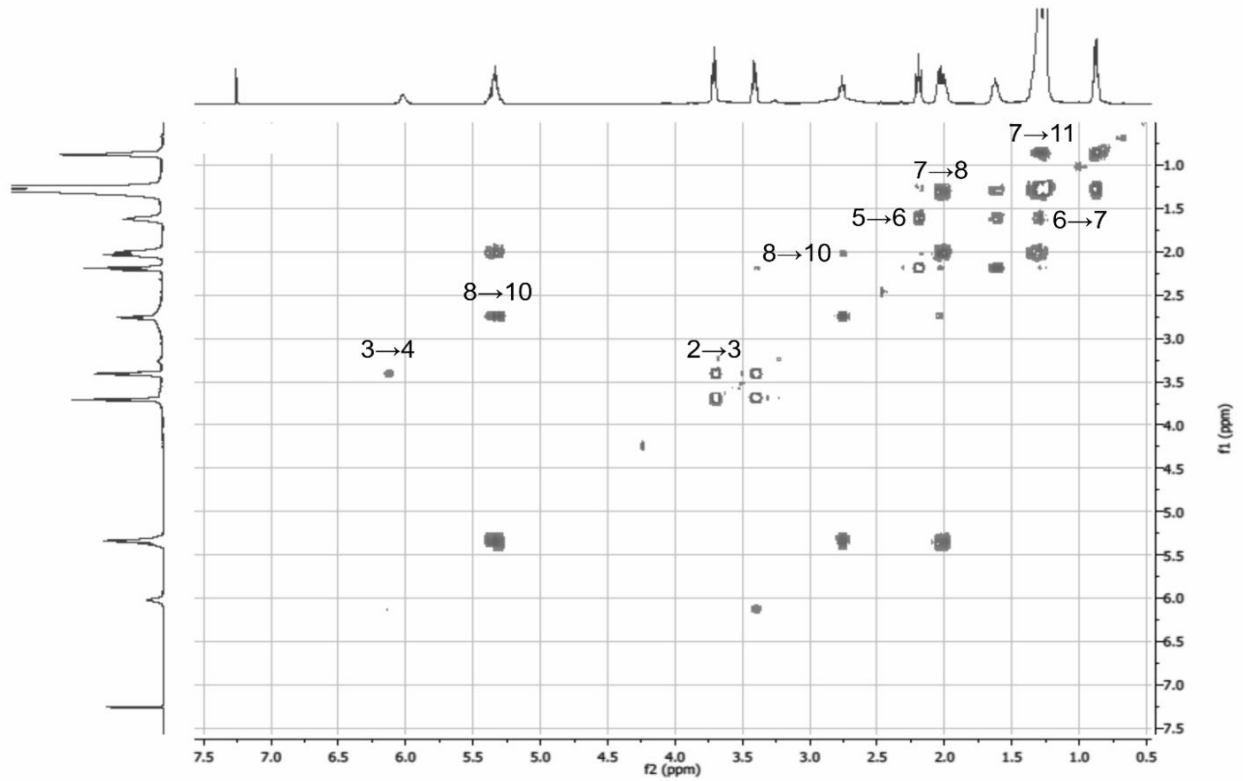


Рис. 5. COSY ЯМР спектр синтезованих моноетаноламідів жирних кислот фосфатидного концентрату

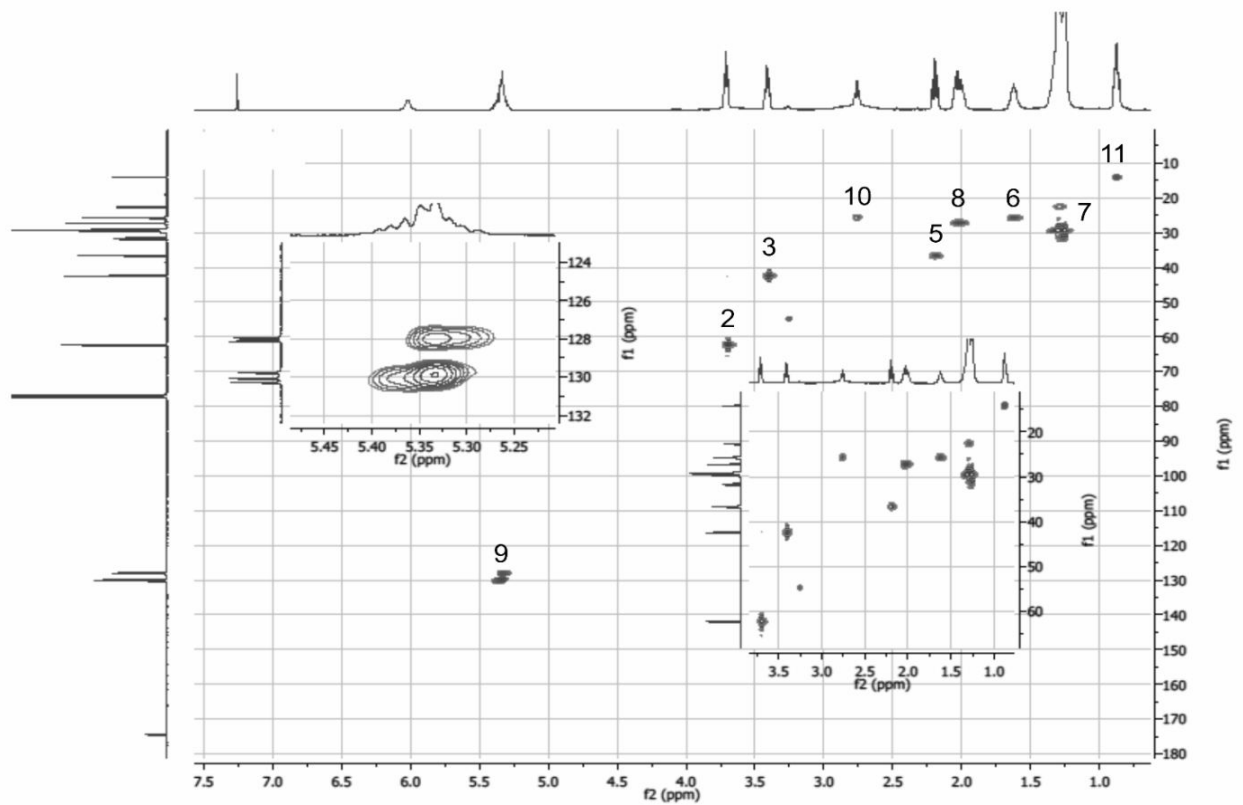


Рис. 6. HSQC ЯМР спектр синтезованих моноетаноламідів жирних кислот фосфатидного концентрату

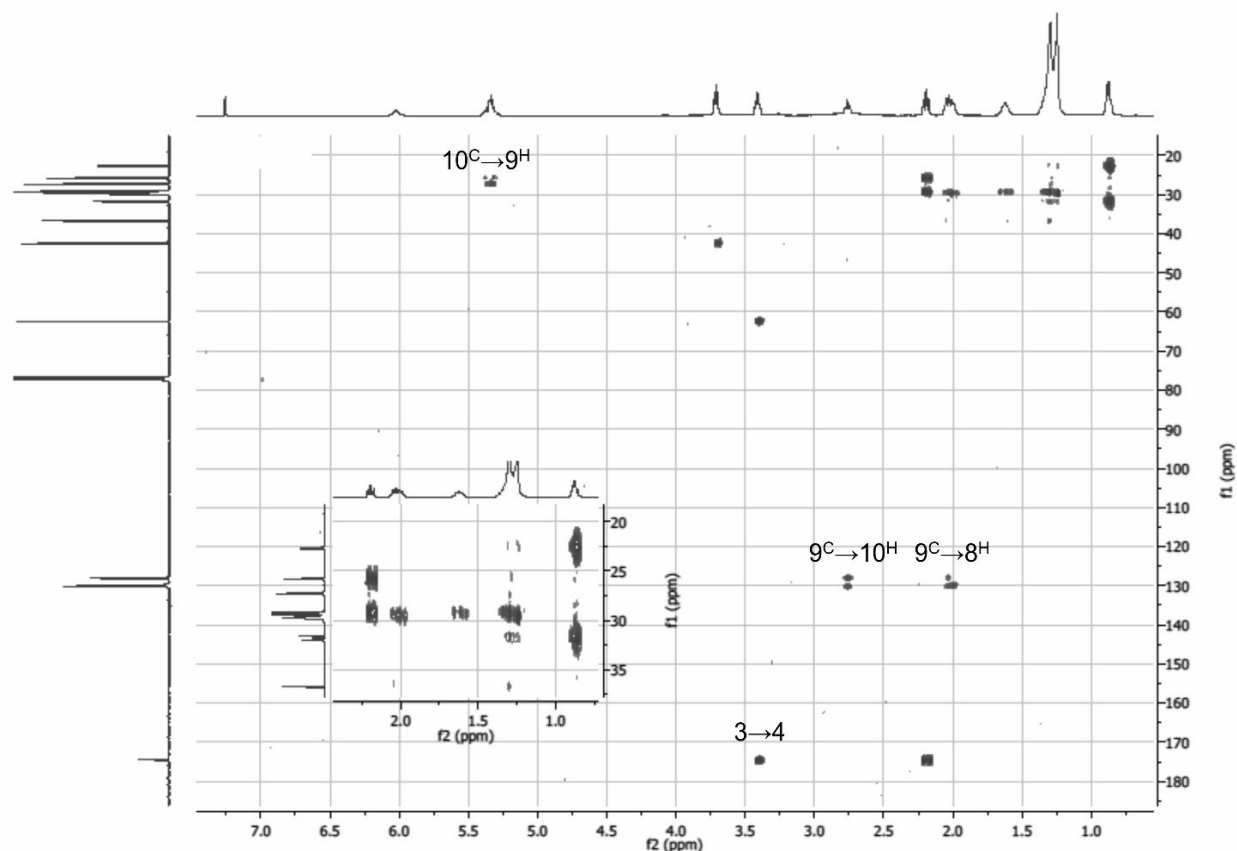


Рис. 7. HMBC ЯМР спектр синтезованих моноетаноламідів жирних кислот фосфатидного концентрату

Цікаво також, що у COSY ЯМР спектрі присутня Н–Н спин-спінова взаємодія між  $=\text{CHCH}_2-$  та  $=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{}$  групами, що може свідчити про цис-транс ізомеризацію подвійних зв'язків в ході лужно-каталітичного процесу (рис. 5); нативним ліпідам властиві здебільшого цис-подвійні зв'язки.

Результати ІЧ-спектроскопії підтверджують дані ЯМР аналізу. В ІЧ-спектрах моноетаноламідів жирних кислот, в порівнянні з вихідним продуктом (ФК), з'являються нові характерні смуги після реакцій трансамідування фосфатидного концентрату амінами за  $3300\text{ cm}^{-1}$  (валентні коливання N–H),  $1640\text{ cm}^{-1}$  (валентні коливання C=O груп амідів) та при  $1560\text{ cm}^{-1}$  (деформаційні коливання N–H груп амідів). Водночас характерні коливання естерних груп ФК за  $1740\text{ cm}^{-1}$  (валентні коливання C=O груп естерів) зникають після синтезу, що додатково вказує на користь утворення ПАР. Також були відзначені зміни при  $3600\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$  (валентні коливання O–H) та за  $1050\text{ cm}^{-1}$  (валентні коливання P–O групи POOH), які, ймовірно, пов'язані із взаємодією фосфатидів та гідроксиду кальцію. Ізомеризація подвійних зв'язків з цис-форми, яка

властива природним ліпідам, у частково трансформу подвійних зв'язків (поза площинні деформаційні коливання  $=\text{CH}$ ) засвідчує поява смуги за  $967\text{ cm}^{-1}$ . Враховуючи сукупні дані, підтверджується хід реакції, зображений на рис. 1.

Важливою відмінною рисою ПАР є здатність утворювати термодинамічно стійкі гетерогенні дисперсні системи. Основними характеристичними властивостями ПАР є висока поверхнева активність та здатність до самочинного міцелоутворення, тобто утворення ліофільних або ліофобних колоїдних розчинів за концентрацій ПАР, вищих за критичну концентрацію міцелоутворення (ККМ).

Завдяки своїй будові молекули біоПАР амфіфільні, оскільки наявність гідрофільної полярної функціональної групи (алкілоламідної і оксіетильної) сприяє їх диспергуванню у воді, тоді як гідрофобні неполярні аліфатичні ланцюги вищих карбонових кислот надають їм спорідненості до органічних розчинників. Також, гідрофільною полярною складовою молекули біоПАР є гліцеролфосфати кальцію, що виконують функцію співПАР. Поблизу концентрації  $5,75 \cdot 10^{-4}$  моль/л (критична концентрація міцело-

утворення) досягається мінімальний поверхневий натяг розчинів біоПАР – 35–36 мН/м за температури 25°C, тоді як для ФК – 42–43 мН/м за концентрації  $6,64 \cdot 10^{-4}$  моль/л. За даних умов завершується формування адсорбційного шару (значення граничної адсорбції біоПАР становить  $2,86 \cdot 10^{-8}$  кмоль/м<sup>2</sup>) і починається інтенсивне утворення молекулами біоПАР міцелярних структур у об'ємі розчину.

Площа, яку займає одна молекула моноетаноламідів жирних кислот фосфатидного концентрату в адсорбційному моношарі, становить  $5,81 \cdot 10^{-20}$  м<sup>2</sup>, що у порівнянні з іншими класичними поверхнево-активними речовинами є меншою, що спричинено їх упорядкуванням структури, ущільненням та компактизацією. Так, площа молекули для естерів насичених кислот складає  $22 \cdot 10^{-20}$  м<sup>2</sup>, додецилсульфату натрію –  $33 \cdot 10^{-20}$  м<sup>2</sup>, аміноамідів жирних кислот олій –  $20,5 \cdot 10^{-20}$  м<sup>2</sup>, спиртів –  $21,6 \cdot 10^{-20}$  м<sup>2</sup>, оксиетильованого дізонанілфенолу –  $78 \cdot 10^{-20}$  м<sup>2</sup>, октилового естеру етиленгліколю –  $32 \cdot 10^{-20}$  м<sup>2</sup> [3].

Висока адсорбційна здатність алкілоламідів на міжфазовій поверхні забезпечує ефективне диспергування та подальшу стабілізацію крапель дисперсної фази, що чітко відображається у створених інвертних емульсійних композиціях з високою солюбілізаційною ємністю [9]. Екранування крапель водної фази досягається вже за концентрації 0,25–0,5 (об.%), яка є вищою за ККМ, проте ущільнення захисного шару навколо крапель води і стабілізація емульсійної системи настає за вмісту біоПАР понад 1,0 об.%. Збільшення концентрації біоПАР 3–5 об.% недоцільне, оскільки властивості емульсій не покращуються. За сталого співвідношення фаз вода/олія=60/40 (%), властивості емульсійних систем змінюються: в'язкість – від 0,15 до 0,21 Па·с, густина, кг/м<sup>3</sup> – 932–934, електростабільність – 125–320 В, стійкість до розділення фаз у часі від 4 дб до 12 місяців.

Завдяки застосуванню сировини рослинного походження у складі біоПАР екологічний показник, біорозщеплюваність, становить 83–86%. Крім того, розроблені дисперсні системи з використанням моноетаноламідів жирних кислот фосфатидного концентрату покращують їх біорозщеплюваність до 55–64%.

Таким чином, встановлено, що синтезовані продукти мають складну суміш алкілоламідів із гліцеролфатидами кальцію, моно- і діацилгліцеролами кислот. Перші з яких мають підвищену поверхневу активність і, відповідно, диспергувальну здатність, а другі – забезпечують

стабільність олеодисперсних систем як унаслідок об'ємного структуроутворення, так і через формування змішаного адсорбційно-сольватного шару. Синтезовані біоПАР є ефективними емульгаторами-стабілізаторами інвертних дисперсій і можуть бути використані для збільшення вилучення вуглеводневої сировини та процесів буріння свердловин.

#### **Висновки**

1. Встановлено, що симбатне зменшення поверхневого натягу на межі поділу з повітрям вказує на утворення поверхнево-активних алкілоламідів, що доведено спектральними і колоїдно-хімічними методами.

2. Методами ІЧ- та ЯМР-спектроскопії досліджено будову синтезованих біоПАР. Встановлено, що у ЯМР спектрах моноетаноламідів жирних кислот фосфатидного концентрату відсутні залишкові кількості вихідних фосфатидів чи ацилгліцеролів, чітко відображені крос-піки між амідною групою та прилеглою метиленою групою, що свідчить про високу конверсію субстрату і додатково підтверджує реакцію амідкування. Також, результати ІЧ-спектроскопії підтверджують утворення алкілоламідів за підібраних умов каталітичної реакції.

3. Із результатів аналізу ЯМР спектрів виявлено, що основним ацильним залишком синтезованого продукту є вуглеводневий ланцюг лінолевої кислоти, проте виявлення метиленових груп біля подвійних зв'язків свідчить про наявність інших жирних кислот (олеїнової, лінолевої і гадолеїнової), що, власне, відповідає жирнокислотному складу вихідного фосфатидного концентрату.

4. Встановлено, що вуглеводневі розчини біоПАР характеризуються емульгувальними та стабілізуючими властивостями і можуть використовуватися для приготування технологічних інвертних систем. Застосування екобезпечних компонентів у складі поверхнево-активних речовин покращують їх біорозщеплюваність до 83–86%.

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Negin C., Ali S., Xie Q. Most common surfactants employed in chemical enhanced oil recovery // *Petroleum*. – 2017. – Vol.3. – No. 2. – P.197-211.
2. Исследование взаимодействия гидроксипропилаэтилдиамин с подсолнечным маслом / Мельник А.П., Чумак О.П., Малик С.Г., Хусанов А.Е. // *East.-Eur. J. Enterprise Technol.* – 2015. – Т.4. – № 6(76). – С.44-49.

3. Поп Г.С., Сафронов О.І., Бодачівський Ю.С. Синтез і властивості алканоламідів вищих жирних кислот високоерукової ріпакової олії // Катализ и нефтехим. – 2016. – № 25. – С.38-44.

4. Komaiko J., Sastrosubroto A., McClements D.J. Formation of oil-in-water emulsions from natural emulsifiers using spontaneous emulsification: Sunflower phospholipid // J. Agric. Food Chem. – 2015. – Vol.63. – No. 45. – P.10078-10088.

5. Bot F., Cossuta D., O'Mahony J.A. Inter-relationships between composition, physicochemical properties and functionality of lecithin ingredients // Trends Food Sci. Technol. – 2021. – Vol.111. – P.261-270.

6. Saikia T., Mahto V. Evaluation of soy lecithin as eco-friendly biosurfactant clathrate hydrate antiagglomerant additive // J. Surfactants Deterg. – 2018. – Vol.21. – No. 1. – P.101-111.

7. Bodachivska L.Yu. Side streams from the vegetable oil production as feedstock for surfactants and their derivative technical systems // Catal. Petrochem. – 2021. – No. 31. – P.55-61.

8. Поп Г.С., Бодачівська Л.Ю., Железний Л.В. Трансформація тригліцеридів і фосфатидів олій амінами: синтез, властивості, застосування // Катализ и нефтехим. – 2012. – № 20. – С.106-117.

9. Синтез і властивості екобезпечних поверхнево-активних речовин на олійно-фосфатидній основі / Поп Г.С., Сафронов О.І., Бодачівський Ю.С., Железний Л.В. // Питання хімії та хім. технол. – 2018. – № 2. – С.86-94.

10. Synthesis and properties of urea greases based on aminoamides of plant oil phosphatides / Papeikin O., Safronov O., Bodachivska L., Venger I. // East.-Eur. J. Enterprise Technol. – 2020. – Vol.4. – No. 6(106). – P.54-60.

11. Badertscher M., Buhlman P., Pretsch E. Structure determination of organic compound. – Berlin: Springer, 2009. – 433 p.

12. Spectrometric identification of organic compounds / Silverstein R.M., Webster F.X., Kiemle D.J. – Seventh edition. – New York: John Wiley&Sons, Inc, 2005. – 550 p.

Надійшла до редакції 10.06.2022

## BIODEGRADABLE SURFACTANTS FROM SIDE STREAMS OF THE VEGETABLE OILS PRODUCTION IN TECHNICAL SYSTEMS

L.Yu. Bodachivska

V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

e-mail: bodach@ukr.net

This work reports the structure of surfactants synthesized from by-products of the vegetable oil production. These are raw materials that do not compete with food products; they are low-cost phosphatidic sludge that can be used directly for chemical transformation. Fatty acid monoetanolamides derived from side streams of the vegetable oils production do not have residues of the original phosphatides or acylglycerols as determined by spectral methods. There are clearly reflected cross-peaks between the amide group and the adjacent methylene group. This indicates a high conversion of substrate and further confirms the amidation reaction. The main acyl residue of the synthesized surfactants are hydrocarbon chain of linoleic acid however, while the detection of methylene groups near double bonds indicates the presence of other fatty acids (oleic, linolenic and gadolein), this corresponds to the fatty acid composition of the original phosphatidic sludge. Synthesized surfactants are effective emulsifiers-stabilizers for dispersed systems. The use of environmentally friendly components in the composition of surfactants improves their biodegradability to 83–86%.

**Keywords:** synthesis; phosphatidic sludge; surfactants; structure of substances; dispersed systems.

## REFERENCES

1. Negin C, Ali S, Xie Q. Most common surfactants employed in chemical enhanced oil recovery. *Petroleum*. 2017; 3: 197-211. doi: 10.1016/j.petlm.2016.11.007.

2. Melnyk AP, Chumak OP, Malik SG, Hysanov AE. Issledovanie vzaimodeistviya gidroksietilendiamina s podsolnechnym maslom [Investigation of interaction of aminoethylethylenediamine with sunflower oil]. *East Eur J Enterprise Technol*. 2015; 4/6(76): 44-49. (in Ukrainian). doi: 10.15587/1729-4061.2015.47732.

3. Pop GS, Safronov OI, Bodachivskiy IS. Syntez i vlastyivosty alkanolamidiv vyshchyykh zhyrnykh kyslot vysokoerukovoi ripakovoi olii [Synthesis and properties of fatty acid alkanolamides from high-erucic rapeseed oil]. *Catal Petrochem*. 2016; (25): 38-44. (in Ukrainian).

4. Komaiko J, Sastrosubroto A, McClements DJ. Formation of oil-in-water emulsions from natural emulsifiers using spontaneous emulsification: sunflower phospholipid. *J Agric Food Chem*. 2015; 63: 10078-10088. doi: 10.1021/acs.jafc.5b03824.

5. Bot F, Cossuta D, O'Mahony JA. Inter-relationships between composition, physicochemical properties and functionality of lecithin ingredients. *Trends Food Sci Technol*. 2021; 111: 261-270. doi: 10.1016/j.tifs.2021.02.028.



---

6. Saikia T, Mahto V. Evaluation of soy lecithin as eco-friendly biosurfactant clathrate hydrate antiagglomerant additive. *J Surfactants Deterg.* 2018; 21(1): 101-111. doi: 10.1002/jsde.12018.

7. Bodachivska L. Side streams from the vegetable oil production as feedstock for surfactants and their derivative technical systems. *Catal Petrochem.* 2021; (31): 55-61. (in Ukrainian). doi: 10.15407/kataliz2021.31.055.

8. Pop GS, Bodachivska LYu, Zheleznyi LV. Transformatsiia tryhlitserydiv i fosfatydiv olii aminamy: syntez, vlastyvoli, zastosuvannia [Transformation of triglycerides and phosphatides of oils by amines: synthesis, properties, applications]. *Catal Petrochem.* 2012; (20): 106-117. (in Ukrainian).

9. Pop GS, Safronov OI, Bodachivskiy IS, Zeleznyi LV. Syntez i vlastyvoli ekobezpechnykh poverkhnevo-aktyvnykh rehovyn na oliino-fosfatydnii osnovi [Synthesis and properties of eco-friendly surfactants based on vegetable oils and phosphatides]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* 2018; (2): 86-94. (in Ukrainian).

10. Papeikin O, Safronov O, Bodachivska L, Venger I. Synthesis and properties of urea greases based on aminoamides of plant oil phosphatides. *East Eur J Enterprise Technol.* 2020; 4/6(106): 54-60. (in Ukrainian). doi: 10.15587/1729-4061.2020.210043.

11. Badertscher M, Buhlman P, Pretsch E. *Structure determination of organic compound. Tables of Spectral Data.* Berlin, Heidelberg: Springer; 2009. 433 p. doi: 10.1007/978-3-540-93810-1.

12. Silverstein RM, Webster FX, Kiemle DJ. *Spectrometric identification of organic compounds.* 7th edition. New York: John Wiley&Sons, Inc; 2005.