

## **МОДИФІКОВАНІ БЕНТОНІТОВІ НАНОГЛИНИ З АНТИБАКТЕРІАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

**Таран Н.А.<sup>1</sup>, Вахітова Л.М.<sup>1</sup>, Бессарабов В.І.<sup>2</sup>, Придятько С.П.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Інститут Фізико-Органічної Хімії і Вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, Відділ дослідження нуклеофільних реакцій, м. Київ, Україна, e-mail: nadeгда5.09.2017@gmail.com

<sup>2</sup>Київський Національний Університет Технологій та Дизайну, Кафедра промислової фармації, м Київ, Україна, e-mail: drvib500@gmail.com

<sup>3</sup>ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет», Кафедра хімічних технологій, м. Покровськ, Україна, e-mail: psp1609@ukr.net

---

Розглянуто проблему розширення кола діючих та допоміжних речовин з доступних природних матеріалів для вдосконалення існуючих і створення нових потенційних лікарських засобів. Проаналізовано переваги використання модифікованих наноглин як антибактеріальних засобів. Отримано монтморилоніт, модифікований іонами срібла (Ag-MMT). Ідентичність Ag-MMT підтверджено даними елементного, рентгенофазового аналізу та ІЧ-спектроскопії. Проведено порівняльний аналіз елементного складу бентонітових глин Дашуківського та Кудрінського родовищ України. Розглянуто можливі механізми антимікробної дії наночастинок срібла, інтеркальованого в монтморилоніт. Очікувана терапевтична ефективність передбачає перспективність використання Ag-MMT при удосконаленні технологій отримання економічних лікарських препаратів.

---

**Ключові слова:** наноглина, наносрібло, антимікробна дія, модифікований монтморилоніт.

## **MODIFIED BENTONITE NANOCCLAYS WITH ANTIBACTERIAL PROPERTIES**

**Taran N.A.<sup>1</sup>, Vakhitova L.M.<sup>1</sup>, Bessarabov V.I.<sup>2</sup>, Pridatko S. P.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>L.M. Litvinenko Institute of Physical Organic Chemistry and Coal Chemistry of the NAS of Ukraine, Department of nucleophilic reactions research, Kyiv, Ukraine, e-mail: nadeгда5.09.2017@gmail.com

<sup>2</sup>Kyiv National University of Technologies and Design, Department of Industrial Pharmacy, Kyiv, Ukraine, e-mail: drvib500@gmail.com

<sup>3</sup>Donetsk National Technical University, Department of chemical technologies, Pokrovsk, Ukraine, e-mail: psp1609@ukr.net

---

The problem of expanding the range of active and auxiliary substances from available natural materials for the improvement of existing and the creation of new potential medicines has been considered. The advantages of using modified nano-molecules as antibacterial agents have been analyzed. Montmorillonite, modified with silver ions (Ag-MMT), has been obtained. The identity of Ag-MMT is confirmed by elemental, X-ray phase analysis and IR spectroscopy. A comparative analysis of element composition of bentonite clays of Dashukivsky and Kudrinsky deposits of Ukraine has been conducted. Possible mechanisms of antimicrobial action of nanoparticles of silver intercalated in montmorillonite has been considered. Expected therapeutic efficiency provides for the prospect of using Ag-MMT in improving the technology of obtaining economical drugs.

---

**Keywords:** nanoclay, nanosilver, antimicrobial action, modified montmorillonite.

Однією з провідних проблем сучасної фармації є розширення кола діючих та допоміжних речовин з економічних і доступних природних матеріалів для

вдосконалення існуючих і створення нових потенційних лікарських засобів [1]. В цьому плані певний науковий і практичний інтерес представляють природні мінеральні глини. Такі цінні властивості глин, як здатність утворювати при невеликих концентраціях стійкі суспензії, при висиханні яких отримують міцні повітро- і вологопроникні плівки, що легко змиваються, висока адсорбційна здатність, можливість змінювати їх властивості та отримувати індиферентні до організму і багатьох лікарських речовин комплекси, дешевизна і доступність, привертають увагу дослідників.

В даний час глини використовують в якості наповнювачів в порошках, допоміжних речовин для отримання гранул і таблеток, стабілізаторів твердих нерозчинних лікарських речовин в суспензіях, емульгаторів для приготування емульсій, адсорбентів для очищення масел, сиропів, рідких екстрактів і соків, а також діючої речовини в лікарських формах з адсорбційною дією [2, 3, 4]. Сорбуючі властивості глин використовують для виготовлення медичних препаратів з поліпшеними органолептичними якостями, а також препаратів пролонгованої дії - неорганічна матриця глини сприяє повільному вивільненню сорбованого лікарського засобу.

Абсорбтивні властивості глин є достатньо вивченими та задокументованими в лікарських протоколах при дослідженні випадків загоєння шкіри та шлунково-кишкових захворюваннях, в той час, як антибактеріальна ефективність є практично не вивченою. Показовими в цьому сенсі є дослідження антимікробної дії французьких зелених глин при лікуванні виразки Бурулі. З одного боку, було доведено, що зелена глина вбиває некротичну інфекцію, викликану *Mycobacterium ulcerans*, й може забезпечити недороге лікування виразки Бурулі та інших шкірних інфекцій. А з іншого, за результатами дослідження антимікробної дії двох зразків зеленої глини (з різних родовищ Франції) до широкого спектра бактеріальних патогенів, було встановлено, що одна глина сприяє зростанню бактерій, в той час як інша вбиває бактерії або значно пригнічує їх ріст. Причина такої поведінки глин криється, перш за все, в відмінності хімічного складу та будови, здавалось би, однотипних глин, вилучених з різних родовищ [5]. Наприклад, Na-форма смектиту ефективна в проносних осмотичних засобах, в той час, як Ca-форма використовується в якості антипроносного агенту при оральному введенні. Широкого розповсюдження глинисті мінерали набули у

дерматології для лікуванні шкірних захворювань у якості антибактеріальних засобів для загоєння ран [6]. З відомих неорганічних антибактеріальних засобів, що містять іони металу (срібло, цинк, мідь) на неорганічному носії, такому як цеоліт чи глина, «наносрібло» є найбільш поширеним та універсальним біоцидом [7].

При цьому наносрібло діє за механізмами, що можуть повністю змінюватися в порівнянні зі звичайними аналогами ідентичного хімічного складу. Наночастинки мають пролонговані антибактеріальні властивості, є дуже ефективними проти бактеріальної адгезії та зростання бактерій. В багатьох випадках механізми токсичності наносрібла щодо бактерій до кінця не вивчені. Але є інформація, що нанобіоциди на основі срібла здатні прикріплюватися до клітинної стінки бактерій шляхом електростатичних взаємодій з руйнуванням мембран клітин та викликати окислювальні стреси шляхом утворення вільних радикалів.

Антибактеріальний ефект частинок срібла залежить від їх розміру. Розмір 1-10 нм є оптимальним для проникнення безпосередньо в клітини бактерій. Також за останніми даними на ефективність дії частинок срібла впливає їх форма. Так, витягнуті трикутні частки більш ефективні, ніж кулясті і паличкоподібні. Іони срібла активно вступають у взаємодію з тіоловими групами ферментів клітини, наприклад, з дегідрогеназою-2 в дихальній системі. Це призводить до формування гідроксильних радикалів, атакуючих клітину, й ушкодження ДНК.

Резюмуючи наявні дані про механізм дії і попередній досвід застосування, можна зробити висновок, що срібло має широкий спектр антибактеріальної активності, включаючи також антибіотикорезистентні грампозитивні і грамнегативні штами. Срібло в поєднанні з різними антибіотиками демонструє синергічну дію, тобто збільшення активності вище, ніж срібло і антибіотик окремо. Крім того, срібло є ефективним протигрибковим препаратом широкого спектра. В дослідженнях доведено знешкодження *S. albicans*, *S. glabrata*, *S. parapsilosis*, *S. krusei*, *T. mentagrophytes* і ін. Ймовірним механізмом дії на гриби є руйнування клітинної мембрани. У численних роботах продемонстровано противірусну дію срібла, при цьому наночастинки ( $Ag^0$ ) ефективніше іонів срібла ( $Ag^+$ ).

Таким чином, є очевидним, що питання ціленаправленого та науково обґрунтованого застосування як природних, так і модифікованих глин в фармацевтичній промисловості не може існувати без достеменного вивчення

структури, хімічного складу, фізико-хімічних властивостей силікатних матеріалів, що дасть змогу створення єдиних баз, а на їх основі й адаптованих технологій, як по первинній обробці мінералів, так і по отриманню інгредієнтів для фармацевтичної промисловості.

В природі існує велике розмаїття природних силікатів, які різняться між собою за структурою кристалічної решітки, хімічним складом, розміром частинок, параметрами кислотності, ємності катіонного обміну, тощо. Навіть глини однієї мінералогічної групи мають істотні розбіги за хімічним складом, який в значній мірі залежить від кліматичних та геологічних умов формування родовища.

У табл. 1 наведено порівняльний аналіз вмісту оксидів в зразках монтморилонітових (ММТ) глин різного географічного походження, де показано, що кількість основних оксидів у монтморилоніті може відрізнятися на 2 – 16 % для зразків різних родовищ. Більш того, навіть в різних зразках, взятих з одного родовища, різниця у вмісті оксидів певних елементів може досягати 8-9%.

Таблиця 1. Вміст оксидів у зразках монтморилоніту різних родовищ.

Оксид	Вміст оксидів, %				
	Монтморильон, Франція	Арізона, США	Вайомінг, США	Черкаси, Україна	Українка, Крим
SiO <sub>2</sub>	51.14	61.77	64.80	51,40	48,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.76	19.85	24.54	17,66	14,66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.83	1.95	1.27	8,37	3,19
MgO	3.22	5.56	1.60	2,28	4,33
CaO	1.62	1.89	0.00	1,50	4,22
Na <sub>2</sub> O	0.11	0.07	0.40	0,10	0,92
K <sub>2</sub> O	0.04	0.09	0.00	0,00	0,38

Саме монтморилоніт – глина смектитової групи бентоніту є найбільш дослідженим мінералом, як за структурою, так і за антибактеріальними властивостями. Побудову ґратки монтморилоніту [8] представлено на рис. 1.

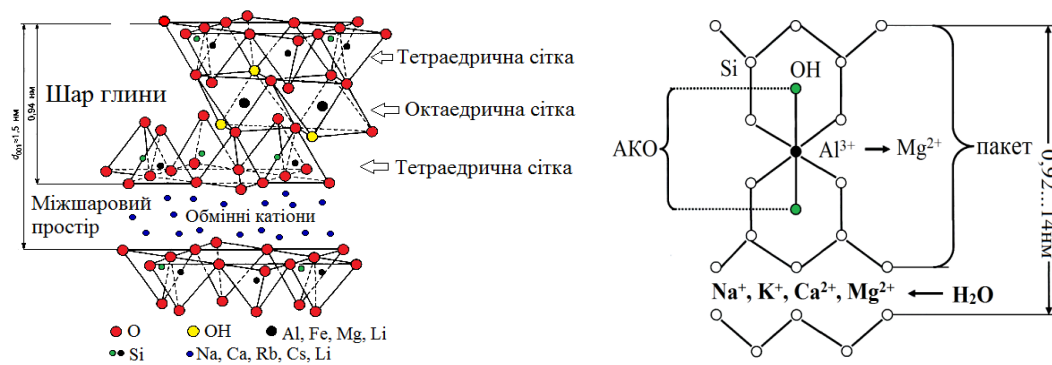


Рисунок 1. Структура кристалічної ґратки монтморилоніту.

Хімічний склад мінералів групи ММТ може бути представлений формулою:



де М - катіон лужних або лужноземельних металів, х - ступінь ізоморфного заміщення, х = 0,5-1,3.

Монтморилоніт складається зі структурних елементів, побудованих з двох зовнішніх кремнійкисневих тетраедричних сіток і проміжної алюмокисневої октаедричної сітки. Усі вершини тетраедрів у сітці спрямовані в одну і ту ж сторону – до середньої частини структурного елемента. Тетраедричні і октаедричні сітки з'єднані між собою таким чином, що вершини тетраедрів кожної кремнійкисневої сітки спільно з вершинами шарів гідроксилів октаедричної сітки утворюють загальний шар. У вершинах, спільних для тетраедричних і октаедричних сіток, розташовуються замість гідроксильних груп  $OH^-$  атоми О [8].

У взаємному розташуванні кремній- і алюмокремнійкисневих шарів атоми кисню кожного структурного елемента є суміжними з шарами атомів кисню сусідніх структурних елементів, внаслідок чого між ними існує дуже слабкий зв'язок. Характерною особливістю структури монтморилоніту є те, що молекули води, іони металів, деякі органічні молекули можуть проникати між структурними шарами, викликаючи розширення ґратки.

Слід нагадати, що в Україні є багаті родовища бентонітових глин (Кудринське, Черкаське, Горбське), які в немодифікованих формах застосовуються в різних галузях промисловості і сільського господарства. Але цей природний ресурс не використовується повною мірою, так як в країні відсутні виробництва по отриманню модифікованих глин, які представлені на ринку продукцією зарубіжних компаній. Тому розробка імпортозамінної технології переробки вітчизняних бентонітових глин є

актуальною та необхідною. Особлива потреба сьогодні відчувається в антибактеріальних бюджетних препаратах для обробки ранових інфекцій, які можуть вироблятися з монтморилоніту, модифікованого іонами срібла.

**Мета дослідження:** розробка методу отримання та ідентифікація монтморилоніту, модифікованого іонами срібла, з використанням як вихідної сировини бентонітових глин вітчизняних родовищ.

#### **Матеріали і методи дослідження.**

В дослідженні були використані зразки бентонітів (БД та БК):

- БД – глина II шару Дашуківського родовища, яка має торгову назву ПБА 18, і за даними технічної документації виробника містить до 75 % монтморилоніту та від 2 до 10 % кварцу;
- БК – глина Кудринського родовища виробництва ЗАТ «Бента», кримський кіл, що складається в основному з монтморилоніту (до 95–98 %) та характеризується відсутністю піщанистих домішок.

ІЧ-спекроскопічні випробування проводили на приладах Specord 75 IR та *Bruker Tensor 37FT-IR* в області 400–4000  $\text{cm}^{-1}$ . Рентгенофазовий аналіз проводили на дифрактометрі ДРОН-2, рентгенофлуоресцентний аналіз на аналізаторі ElvaX. Центрифугування зразків проводили на лабораторній центрифугі Janetzki T23. Значення рН вимірювали рН-метром «Metrohm-827».

Збагачення бентонітової глини. 1000 г зразку бентонітової глини висушували при 120 °С протягом доби до постійної маси. Отримували 720–800 г обезводненої глини. До цієї кількості сухої глини додавали 2000 г дистильованої води та перемішували на високо-обертвовій мішалці протягом 1 год. Після перемішування суміш залишали на 10 хв для осадження піску й інших твердих домішок, обережно зливали суспензію та залишали її для відстоювання на 1 добу. Потім воду зливали, а процедуру відмивання осаду повторювали ще два рази.

Одержаний осад обробляли 10 %-ним розчином соляної кислоти до тих пір, поки не припиниться утворення бульбашок вуглекислого газу. Соляну кислоту в золь додавали малими порціями, так, щоб після припинення реакції значення рН було не менше 3. Далі глинистий мінерал промивали водою багаторазовою декантацією. Потім розчин глини у воді центрифугували, відділяли рідину, а осад висушували при температурі 120 °С. Одержували 400–500 г монтморилоніту.

Отримання Na-форми монтморилоніту. До 100 г отриманого осаду монтморилоніту додавали 200 мл 1 М розчину хлориду натрію і при періодичному перемішуванні суміш витримували три доби, потім проводили відмивання глини від надлишку хлориду натрію водою до зникнення хлорид-аніонів в змивній воді. Наявність хлорид-аніонів визначали аргентометричним титруванням. Отриманий золь Na-форми монтморилоніту (Na-ММТ) центрифугували, осад висушували при температурі 80 °С протягом двох діб до постійної ваги (75–80 г) і використовували в якості вихідного реагенту для отримання модифікованих глин.

Модифікація Na-форми монтморилоніту нітратом срібла. У колбі ємністю 300 мл диспергували 5 г Na-ММТ в 100 мл дистильованої води при кімнатній температурі, потім додавали 50 мл 10 % розчину нітрату срібла і перемішували на магнітній мішалці протягом 3 год. Суспензію глини витримували при кімнатній температурі протягом доби, декантували, осад фільтрували. Отриманий матеріал промивали для видалення надлишку нітрату срібла до  $\text{pH} \approx 5-6$ , висушували при температурі 20–40 °С. Отримали 3,80 г глини, модифікованої сріблом (Ag-ММТ).

#### **Результати дослідження.**

Технологічна процедура отримання модифікованих похідних ММТ з природніх бентонітових глин складається з двох основних етапів:

- 1) збагачення зразків БД та БК з метою вилучення ММТ у вигляді Na-модифікованої форми (Na-ММТ);
- 2) модифікація Na-ММТ іонами срібла.

Перетворення бентонітової глини у Na-ММТ необхідне через те, що іони  $\text{Na}^+$  характеризуються стеричною сумісністю з поверхнею шаруватих алюмосилікатів та не утворюють таких великих гідратних оболонок, як іони  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ . Для вивчення фізико-хімічних властивостей Na-форму монтморилоніту подрібнювали, просівали через сито № 1, висушували в сушильній шафі при температурі 100 °С до постійної ваги та визначали властивості, що наведені у табл. 2.

Відмінності у фізико-хімічних властивостях Na-ММТ (табл. 2) обумовлені, перш за все, різницею вмісту основних оксидів ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) у вихідних зразках БД і БК, що підтверджується даними рентгенофлуоресцентного аналізу (табл. 3).

Таблиця 2. Фізико-хімічні властивості Na-форми монтморилоніту.

№	Показник, од. виміру	Значення	
		БД*	БК**
1	Набухання, см <sup>3</sup>	22,0	23,2
2	pH	8,52	8,74
3	Ємність катіонного обміну, мг-екв на 100 г ММТ	91	88

Примітка: \* Na-ММТ, отриманий з БД; \*\* Na-ММТ, отриманий з БК.

Слід зазначити, що дані елементного аналізу бентонітових глин Дашуківського та Кудринського родовищ, наведені у табл. 3, у першому приближенні співпадають з літературними [9], а суттєва різниця між вмістом оксидів в природних силікатах різних родовищ пов'язана з непостійністю складу монтморилоніту.

Для ідентифікації Na-модифікованого ММТ, який в подальшому застосовувався як вихідна сировина для отримання монтморилоніту, модифікованого катіонами срібла (Ag-ММТ), використовували метод ІЧ-спектроскопії, який є чутливим до природи шаруватих силікатів, а також до вмісту октаедричних атомів (Al, Fe, Mg) в структурі аналізованої речовини, а відповідно, й до змін, що відбуваються на різних стадіях обробки мінералів. При аналізі ІЧ-спектрів природних і модифікованих бентонітів відокремлюють дві основні області. В області 4000–3000 см<sup>-1</sup> знаходяться смуги валентних коливань ОН-груп, що належать до октаедричних катіонів, а також молекул води, асоційованих за допомогою водневих зв'язків. В області 1400–400 см<sup>-1</sup> зосереджені смуги силікатної структури глини.

На рис. 2 наведено ІЧ-спектри Na-ММТ, які були одержані зі зразків природної глини БД (рис. 2, 1) та БК (рис. 2, 2), які свідчать про ідентичність структур Na-модифікованого ММТ незалежно від вихідного бентоніту. Тим не менш, спектр Na-ММТ, отриманого з Дашуківського бентоніту (рис. 2, 1) має характерний дублет при 798 і 779 см<sup>-1</sup>, що свідчить про наявність у сполуці вільної фази  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> ( $\alpha$ -кварцу). В той же час, ІЧ-спектр зразку Na-ММТ (рис. 2, 2), отриманого з глини БК, демонструє практичну відсутність піків, характерних для кварцових структур. Ця обставина ускладнює технологічні процеси модифікації бентонітових глин Дашуківського



родовища на стадії збагачення глини і вилучення ММТ та потребує додаткових операцій по відмучуванню вихідної глини.

Таблиця 3. Дані елементного аналіз бентонітових глин Дашуківського та Кудрінського родовищ.

Оксид	Вміст оксидів, %	
	БД	БК
SiO <sub>2</sub>	58,64	49,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,60	14,57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,34	2,24
CaO	0,44	0,51
MgO	1,80	2,25
TiO <sub>2</sub>	1,32	0,19
Na <sub>2</sub> O	1,15	0,87
K <sub>2</sub> O	1,01	0,51

Слід також звернути увагу, що в області валентних і деформаційних коливань ОН-груп присутня чітка смуга Al–Al–ОН при 3602 см<sup>-1</sup> та смуга при 892 см<sup>-1</sup> (рис. 2, 1), яка відповідає деформаційним коливанням ОН-групи в структурному фрагменті Al–Fe–ОН та підтверджує факт доволі значного вмісту катіону Fe<sup>2+</sup> в зразку БД на відміну від БК (табл. 3).

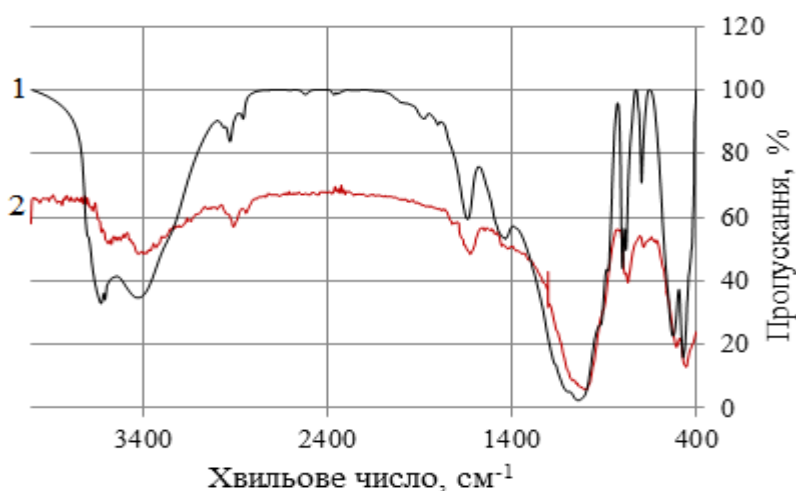


Рисунок 2. ІЧ-спектри глин Na-модифікованого ММТ: 1 – Na-ММТ (БД); 2 – Na-ММТ (БК).

Ідентифікація Na-ММТ із застосуванням рентгенофазового аналізу (РФА) також підтверджує присутність кварцу на рівні 2–3 % у зразку Na-модифікованого ММТ, отриманого з Дашуківського бентоніту (рис. 3). Слід зазначити, що за даними РФА, представленими на рис.3, у порошку бентонітовому активованому ПБА-18, який позиціонується як модифікований катіонами  $\text{Na}^+$  бентоніт, вміст кварцу досягає 20 %. Незважаючи на те, що зразок ПБА-18 (БД) є частково перетвореним в Na-форму, в ньому присутня деяка кількість Ca-Mg-ММТ, про що свідчать базальні рефлекси близько 1,5 нм (рис. 3). Після проведення очищення та обробки глини ПБА-18 за методиками, описаними вище, дані РФА підтверджують отримання Na-ММТ з фіксацією відстані між силікатними пластинами 1,28 нм, що відповідає літературним даним - 1,20–1,30 нм [10, 11].

Аналіз зразків Na-ММТ за даними елементного (табл. 3), рентгенофазового (рис. 3) аналізу та ІЧ-спектроскопії (рис. 2) вказує на значне зменшення вмісту кальцитів у Na-модифікованих формах глини.

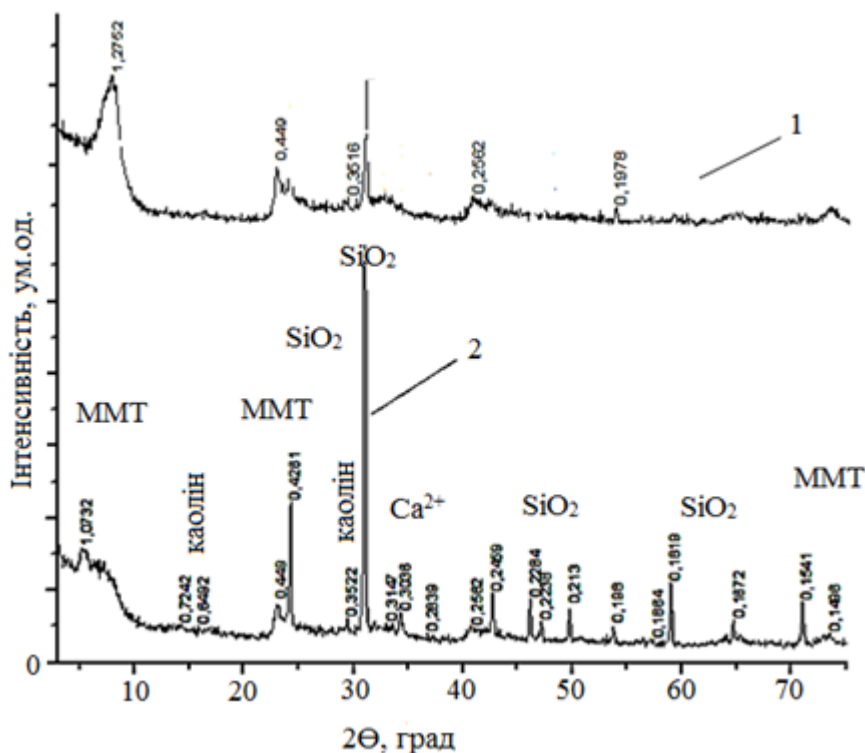


Рисунок 3. Дифрактограми Na-форми бентонітів: 1 – Na-ММТ (БД); 2 – ПБА-18.

Так, в ІЧ-спектрі Na-ММТ (рис. 2) відсутні смуги поглинання кальцитів  $890\text{ см}^{-1}$ ,  $706\text{ см}^{-1}$ , які проявляються в зразках вихідної глини. В цілому ІЧ-спектр Na-ММТ відповідає структурі сполуки і збігається з аналогічними ІЧ дослідженнями монтморилоніту, наведеними в літературі [12,13]: смуги в інтервалі  $3600\text{--}3400$  і  $1655\text{ см}^{-1}$  відносяться до ОН-валентних і деформаційних коливань вільної та зв'язаної води, смуга при  $1037\text{ см}^{-1}$  належить валентним коливанням Si–O–Si тетрадрів кремнійкисневого каркаса, а смуги  $470$  та  $520\text{ см}^{-1}$  – деформаційним коливанням зв'язків Me–O, смуга  $798\text{ см}^{-1}$  відповідає Si–O–Si коливанням кілець  $\text{SiO}_4^{4-}$  тетрадрів.

Для отримання монтморилоніта, модифікованого сріблом (Ag-ММТ), використовували методику, описану вище. ІЧ-спектр Ag-ММТ наведено на рис. 4.

Взаємодії між силікатними шарами ММТ і  $\text{Ag}^+$  відповідає пік  $3413\text{ см}^{-1}$ , який разом із смугою деформаційних коливань при  $955\text{ см}^{-1}$  вказує на присутність у зразку катіонів срібла. З аналізу спектру (рис. 4) походить, що в модифікованій глині відбулося зменшення інтенсивності пропускання при частоті  $3650\text{--}3635\text{ см}^{-1}$ , пов'язане зі збільшенням гідроксильних груп у зразках. Така зміна інтенсивності смуги, найімовірніше, означає зростання обмінної ємності модифікованої глини в порівнянні з вихідною, що є наслідком збільшення міжшарових відстаней ( $d$ , нм) в Ag-ММТ.

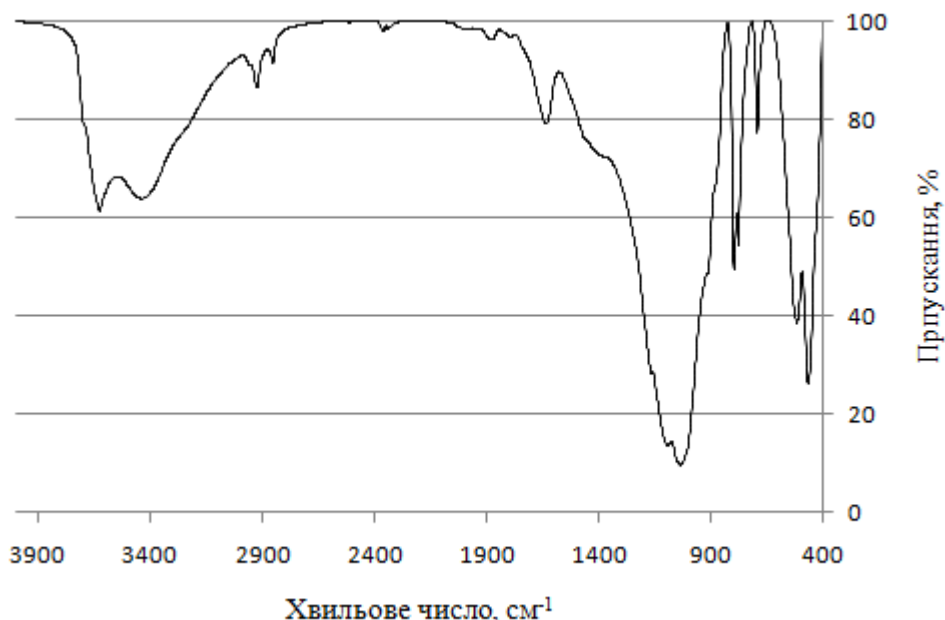


Рисунок 4. ІЧ-спектр Ag-ММТ.

Значення  $d$ , розраховані за формулою Вульфа-Брега із залученням даних дифрактограм (рис. 3 та рис. 5), представлені у табл. 4.

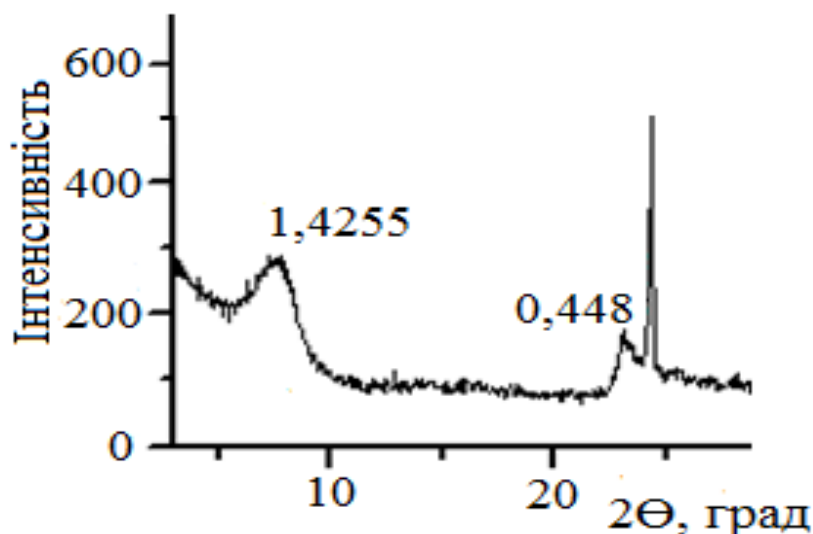


Рисунок 5. Дифрактограма монтморилоніту, модифікованого катіонами  $\text{Ag}^+$ .

Таблиця 4. Міжшарові відстані ( $d$ , нм) та вміст катіонів (%) в модифікованих монтморилонітах

Катіон	БД		БК	
	$d$ , нм	%	$d$ , нм	%
$\text{Na}^+$	1,27	7,08	1,19	8,04
$\text{Ag}^+$	1,42	7,75	1,40	7,91

Значення  $d$  в  $\text{Ag}$ -ММТ, розраховане за формулою Вульфа – Брега із залученням даних дифрактограми, дорівнює 1,43 нм. За даними рентгенофлуоресцентного аналізу продукт модифікації містить 7,75 – 7,91 %  $\text{Ag}^+$  і практично не містить катіонів  $\text{Na}^+$ , що свідчить про кількісний перебіг катіонного обміну. Стабільність, морфологія, розподіл частинок за розмірами, стан поверхні заряду наносрібла грають дуже важливу роль у прояві його антибактеріальних властивостей, тому є великий інтерес до контрольованого синтезу наночастинок  $\text{Ag}$ . Інтеркаляція іонного срібла в порожнини ММТ є економічним способом одержання стабільних наночастинок срібла.

#### **Висновки.**

Отримано монтморилоніт, модифікований іонами срібла, що підтверджено даними елементного, рентгенофазового аналізу та ІЧ-спектроскопії. При випробуванні

Ag-ММТ, як антибактеріального засобу, слід очікувати підвищення біоцидної дії наносполуки за рахунок внеску антибактеріальної активності ММТ з пролонгуванням терміну дії  $\text{Ag}^+$  завдяки бар'єрному ефекту, що створює наноглина. Очікувана терапевтична ефективність передбачає перспективність використання Ag-ММТ при удосконаленні технологій отримання економічних лікарських препаратів.

#### Список літератури.

1. Kim M., Elzatahry A., Choi G. Review of Clay-drug Hybrid Materials for Biomedical Applications: Administration Routes // *Clays and Clay Minerals*. 2016. 64(2). P.115–130.
2. Сало Д.П., Овчаренко Ф.Д., Круглицкий Н.Н. Высокодисперсные минералы в фармации и медицине. Киев: Наук. думка, 1969. 232 с.
3. Viserasa C., Lopez-Galindob A. Pharmaceutical applications of some spanish clays (sepiolite, palygorskite, bentonite): some preformulation studies // *Applied Clay Science*. 1999. Vol. 14, № 1-3. P. 69-82.
4. Кормишина А.Е., Мизина П.Г., Кормишин В.А. Исследование возможности использования природных минеральных глин в фармации // *Теоретические и практические аспекты современной медицины: сб. ст. по матер. I междунар. науч.-практ. конф. № 1(1)*. Новосибирск: СибАК, 2017. С. 48-52.
5. Williams L.B. Chemical and mineralogical characteristics of French green clays used for healing / L.B. Williams, S.E. Haydel, R.F. Geise et al. // *Clays and Clay Minerals*. 2008. № 56. P. 437-452.
6. Ghadiri M., Chrzanowski W., Rohanizadeh R. Biomedical applications of cationic clay minerals. *RSC Advances*. 2015. 5(37). P. 29467–29481.
7. Bagheri M., Beyermann M., Dathe M. Mode of action of cationic antimicrobial peptides defines the tethering position and the efficacy of biocidal surfaces // *Bioconjug Chem*. 2011. 23. P. 66-74.
8. Куковский Е.Г. Особенности строения и физико-химические свойства глинистых минералов. М.: Химия, 1966. 158 с.
9. Сало Д.П. Натриевые формы отечественных бентонитов и их физико-химические свойства / Д.П. Сало, Е.Н. Гриценко, С.И. Вишневская, Т.В. Подлесная // *Труды ХФИ. X*. 1962. Вып. 2. С. 11–22.

10. Zhang Z., Liao L., Xia Zh. Ultrasound–assisted preparation and characterization of anionic surfactant modified montmorillonites// *Applied Clay Science*. 2010. V. 50. P. 576–581.
11. Papatzani, S., Paine, K. Inorganic and organomodified nano-montmorillonite dispersions for use as supplementary cementitious materials – a novel theory based on nanostructural studies// *Nanocomposites*. 2017. N.3(1). P. 2–19.
12. Oliveira C.I.R. Characterization of bentonite clays from Cubati, Paraiba (Northeast of Brazil) / C.I.R. Oliveira, M.C.G. Rocha, A.L.N. da Silva, L.C. Bertolino // *Cerâmica*. 2016. N. 62. P. 272–277.
13. Kamal F.H. Preparation and characterization of organo–clay composite beads / Kamal F.H., Khalek M.A.A, Fattah M.A.A. // *American Journal of Chemistry*. 2016. V. 1 (1). P. 1–9.