

9. Чхенадзе, Н. В. К определению допустимой величины кальциевой жёсткости при электродиализе минерализованных вод с одновременным концентрированием [Текст] / Н. В. Чхенадзе, Ц. С. Курцхалиа // GEN: Georg. Eng. News. – 2004. – № 4. – С. 118–122.
10. Кучерик, Г. В. Електрохімічне вилучення хлоридів із природних вод і лужних регенераційних розчинів [Текст] / Г. В. Кучерик, Ю. А. Омельчук, М. Д. Гомеля // Збірник наукових праць СХУЯЕ та П. – 2011. – Т. 2, № 38. – С. 189–196.
11. Шаблій, Т. О. Електрохімічна переробка відпрацьованих розчинів, що утворюються при регенерації катіонітів [Текст] / Т. О. Шаблій, М. Д. Гомеля, Є. М. Панов // Екологія і промисловість. – 2010. – № 2. – С. 33–38.
12. Шаблій, Т. О. Створення нових реагентів і технологій для захисту водойм від забруднення промисловими стоками [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 21.06.01 / Т. О. Шаблій // Екологічна безпека. – Київ, 2014. – 39 с.

*Доступними та порівняно простими фізико-хімічними методами досліджено вплив катіонних поверхнево-активних речовин з різною структурою гідрофобного ланцюга на зміну структури поверхні силікатного мінералу монтморилоніту. Доведено, що при збільшенні довжини гідрофобної частини при адсорбції алкіламонійних солей відбувається формування подвійного шару органічних катіонів, що призводить до значного покращення адсорбційних властивостей*

*Ключові слова: поверхня, адсорбція, монтморилоніт, четвертинні алкіламонійні соли, седиментація, макроелектрофорез, хром, кобальт*

*Доступными и сравнительно простыми физико-химическими методами исследовано влияние катионных поверхностно-активных веществ с разной структурой гидрофобной цепи на изменение структуры поверхности силікатного мінерала монтморилоніта. Доказано, что при увеличении длины гидрофобной части при адсорбции алкіламоніевих солей происходит формирование двойного слоя органических катионов, которое приводит к значительному улучшению адсорбционных свойств*

*Ключевые слова: поверхность, адсорбция, монтморилонит, четвертичные алкіламоніевые соли, седиментация, макроелектрофорез, хром, кобальт*

УДК 544.723.2, 544.72.05

## ЗМІНА СТРУКТУРИ ПОВЕРХНІ МОНТМОРИЛОНІТУ ПРИ АДСОРБЦІЇ КАТІОННИХ ПОВЕРХНЕВО- АКТИВНИХ РЕЧОВИН

**А. О. Голембіовський**  
Аспірант\*

E-mail: a.golemb@yahoo.com

**А. М. Брезіцька**\*

E-mail: annabrezitska@gmail.com

**Л. М. Спасьонова**

Кандидат хімічних наук, доцент\*

E-mail: lar\_spas@yahoo.com

\*Кафедра хімічної технології кераміки та скла  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

### 1. Вступ

Шаруваті силікати досить поширені у багатьох галузях промисловості через високі величини питомої поверхні, здатності до набухання, катіонообмінної ємності, і, як наслідок, значних адсорбційних ємностей [1]. Серед набухаючих глинистих мінералів найбільш широке застосування отримав монтморилоніт (ММТ), в якому між двома шарами кремнекисневих тетраєдрів (Т) розташований шар алюмокисневих октаєдрів (О). Внаслідок ізоморфних замішень тетраєдричних атомів  $\text{Si}^{4+}$  на  $\text{Al}^{3+}$ , та октаєдричних  $\text{Al}^{3+}$  на  $\text{Mg}^{2+}$  або  $\text{Fe}^{2+}$  в структурі ММТ накопичується негативний заряд, який компенсується гідратованими обмінними катіонами, такими як  $\text{Na}^+$  або  $\text{Ca}^{2+}$ , які розташовуються у міжшаровому просторі між двома паралельними шарами структури Т–О–Т. Гідратація неорганічних

катіонів на іонообмінних місцях обумовлена тим, що смектити формуються у водних середовищах, та, як наслідок, ці катіони слабо утримуються лише електростатичною взаємодією.

В дуже розведених водних суспензіях  $\text{Na}$ –ММТ дисоціює на невеликі катіони та великі негативно заряджені силікатні шари, які проявляють властивості поліелектроліту [2]. Таким чином, дисоційовані Т–О–Т шари можуть адсорбувати інші неорганічні та органічні катіони. При неповній дисоціації відбувається лише часткове деламінування шарів та спостерігається утворення тактоїдів, що складаються з декількох паралельних Т–О–Т шарів, які тримаються електростатичною взаємодією з обмінними катіонами в міжшаровому просторі. Вода та полярні органічні молекули притягуються на іонообмінні позиції та можуть інтеркалюватись в міжшаровий простір, що

обумовлює розширення структури в напрямку, перпендикулярному до шарів.

Дослідження зміни фізико-хімічних характеристик дисперсій глинистих мінералів при заміні неорганічних обмінних катіонів на органічні молекули дозволяють значно розширити сферу застосування отримуваних матеріалів та безперечно є актуальними.

## 2. Літературний огляд

Катіонообмінні реакції, внаслідок яких відбувається заміщення катіонів в міжшаровому просторі смектитів та вермикулітів, відбуваються при змішуванні водної дисперсії глинистого мінералу та розчину органоамонійної солі, що являє собою катіонну поверхнево-активну речовину (ПАР). В даному процесі ПАР змінює гідрофільну поверхню силікату на гідрофобну [2, 3]. Гідрофільно-гідрофобний баланс залежить від довжини та щільності упаковки алкільних ланцюгів. Органофільні глини зазвичай використовують як релогічні присадки до фарб, бурових розчинів та як наповнювачі в косметичних засобах [4]. Продукт зазвичай відділяють центрифугуванням або фільтруванням та ретельно відмивають, бо кількісний обмін вимагає певного надлишку алкільамонійної солі по відношенню до катіонообмінної ємності (КОЄ).

Кількісний обмін міжшарових катіонів на катіонні ПАР в смектитах може бути використаний як метод достовірного визначення знаку заряду поверхні та для характеристики мінералів [2, 5]. Структура інтеркальованих катіонів ПАР залежить від заряду поверхні та довжини алкільного ланцюга: амонійні групи електростатично притягуються до поверхні глинистого мінералу, в той час як алкільні ланцюги (які можуть мати також і конформаційні дефекти) приймають структуру моношару [6]. Коротколанцюгові алкільамонійні іони групуються в моношари, а більш довголанцюгові – в бішари з алкільними групами, що лежать паралельно до силікатних шарів. Моношар перегрупується в бішар коли область алкільамонійних іонів на поверхні стає більшою, ніж еквівалентна область. Перехід моношар/бішар використовують щоб визначити розподіл заряду та середній заряд шару.

Псевдо-тришарові структури перекручених алкільних ланцюгів спостерігаються при інтеркалюванні в високзаряджені смектити та/або якщо ПАР має довгий ланцюг [7]. Термін «псевдо» використовують тому що групи ПАР з позитивним зарядом прикріплюються до поверхні, в той час як алкільні ланцюги приймають форму тримолекулярного шару внаслідок утворення зламів та конформаційних перегинів.

Структури парафінового типу в міжшаровому просторі смектитів формуються четвертинними алкільамонійними солями з двома або більше довгими алкільними ланцюгами. Майже паралельна орієнтація ланцюгів досягається формуванням гауше-зв'язків близько до амонійної групи. Ці конформації також дозволяють більш щільну упаковку даних ПАР в моно- та біомолекулярних плівках [8].

Проте, в оглянутих публікаціях для систематизації та характеристики поверхні органоамодифікованих глини, не зустрічається порівняння адсорбції катіонів

та аніонів важких металів. Таким чином, до цього часу не було систематизовано та комплексно вивчено структуру поверхні органоамодифікованого монтморилоніту та його адсорбційні властивості відносно аніонів та катіонів важких металів, отриманих модифікуванням алкільамонійними солями від довжини їх ланцюга.

## 3. Цілі та задачі дослідження

Основною метою даної наукової роботи було дослідження впливу алкільамонійних солей з різною довжиною алкільного радикалу на структуру монтморилоніту та його адсорбційні властивості.

Для досягнення цієї мети вирішувались наступні задачі: характеристика отриманих зразків фізико-хімічними методами аналізу та порівняння здатності до сорбції аніонних та катіонних форм важких металів на прикладі хрому (VI) та кобальту (II).

## 4. Об'єкти та методи дослідження отриманих зразків

В якості об'єкту дослідження був взятий природний силікат з шаруватою структурою – монтморилоніт Черкаського родовища (Україна) з катіонною обмінною ємністю (КОЄ) 1,0 ммоль/г [9]. Методика отримання очищеної моноіонної  $\text{Na}^+$  – форми наведена в [10].

Наступні поверхнево-активні речовини від виробника Sigma-Aldrich були використані без подальшого очищення: гексадецилтриметиламоній бромід (далі – C16), алкільбензилдиметиламоній хлорид (C14), додецилтриметиламоній бромід (C12), тетраметиламоній хлорид (C1).

Перед модифікуванням поверхні монтморилоніту проводили ультразвукову обробку суспензії, а потім додавали розчин ПАР у діапазоні співвідношень 0–2,4 ПАР/КОЄ (детальна методика та подальша підготовка зразків до адсорбційних експериментів наведена в [10]). Після модифікування проводили визначення електродного потенціалу ( $\zeta$  – потенціалу) глинистих суспензій на лабораторній установці. Знак заряду визначали за рухом суспензії до відповідного електроду. Окрему частину проби витримували 2 год, після чого вимірювали висоту осаду. Потім зразки центрифугували, промивали від надлишку ПАР та висушували при температурі 105 °С.

В сорбційних експериментах використовували дихромат калію  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  та гексагідрат хлориду кобальту  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Сорбцію проводили в статичних умовах, в терморегульованому боксі при температурі 25 °С та безперервному струшуванні зразків протягом 1 год (співвідношення Т/Р = 1/500, концентрація хрому та кобальту в сорбційних експериментах становила 100 та 20 мг/дм<sup>3</sup> відповідно). Іонну силу (0,01 М) розчинів створювали за допомогою NaCl. Після встановлення адсорбційної рівноваги водну фазу відділяли центрифугуванням (2000 g) та визначали в ній рівноважну концентрацію хрому (VI) та кобальту (II) спектрофотометричним методом (UNICO 2100UV) з використанням реагентів дифенілкарбазиду та нітросо- $\text{R}$ -солі при довжині хвилі 540 та 520 нм для хрому та кобальту відповідно.

## 5. Флокуляція дисперсій катіонними ПАР

Органічні катіони, які адсорбуються глинистими мінералами, є дуже ефективними дестабілізуючими агентами для глинистих дисперсій, навіть за низьких концентрацій, що призводить до утворення нещільних флокул. На рис. 1 показано залежності висоти осаду модифікованих дисперсій від співвідношення ПАР/КОЕ. Для довголанцюгових ПАР (С16 та С14) спостерігається V-подібний характер кривих. Це можна пояснити тим, що спочатку відбувається поступова гідрофобізація та флокуляція системи внаслідок компенсування заряду частинок до співвідношення ПАР/КОЕ близько 1, а при збільшенні вмісту ПАР в системі починається адсорбція другого шару ПАР на поверхні глинистого мінералу з поступовою гідрофілізацією поверхні. Зокрема, таке пояснення для С16 узгоджується з попередніми дослідженнями інших авторів, що наведені в [11].

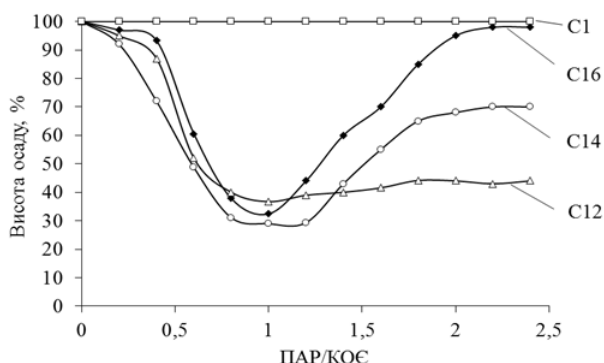


Рис. 1. Висота осаду модифікованих дисперсій

Проте, при зменшенні довжини ланцюга не спостерігається гідрофілізації поверхні при надлишкових концентраціях ПАР, що обумовлено більшою критичною концентрацією міцелування, а значить і меншою стійкістю міцел ПАР, що складаються з коротких гідрофобних ланцюгів [12, 13].

## 6. Електрокінетичні властивості модифікованих дисперсій

Припущення щодо зміни структури мінералу внаслідок модифікування підтверджується дослідженнями зміни знаку заряду поверхні та величини електрокінетичного потенціалу (рис. 2). Дана залежність має типовий вигляд для даного виду матеріалів [14].

При поступовому збільшенні концентрації ПАР в системі  $\zeta$ -потенціал майже не змінюється до досягнення точки нульового заряду поверхні. В даному проміжку усі катіонообмінні центри скомпенсовані зарядом ПАР і система коагулює. Після цього починається стадія утворення другого шару молекул ПАР, які за гідрофобною взаємодією починають формувати другий шар, і поверхня стає зарядженою позитивно.

При зменшенні довжини гідрофобного ланцюга спостерігається більш повільна перезарядка поверхні, що обумовлено більш слабкою здатністю невеликих вуглеводневих радикалів формувати подвійний шар. Для С16 зміна заряду найбільш відчутна і сягає близько

від  $-50$  до  $+50$  мВ, для С14 – від  $-50$  до  $+30$  мВ, для С12 – від  $-50$  до  $+10$  мВ, а для С1 зміна знаку заряду не відбувається внаслідок порівняно незначних розмірів та як наслідок неможивості утворення другого шару і сягає від  $-50$  до  $-35$  мВ.

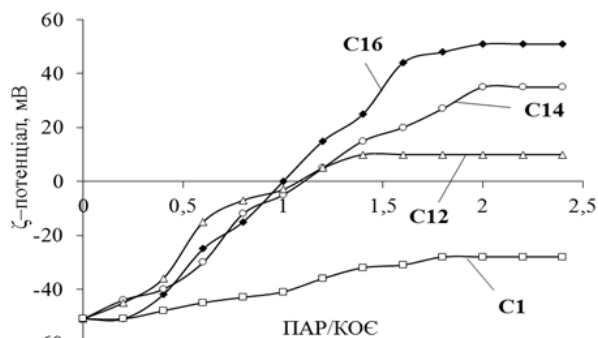


Рис. 2. Електрокінетичний потенціал модифікованих дисперсій

Загалом, при збільшенні співвідношення ПАР/КОЕ,  $\zeta$ -потенціал поступово змінюється від «-» до нуля. Локально утворюються центри з позитивними та негативними зарядами, які в точці нульового заряду компенсуються, що викликає флокуляцію дисперсії внаслідок формування моношару. При подальшому збільшенні співвідношення ПАР/КОЕ  $\zeta$ -потенціал змінюється від нуля до «+», отже поверхня повністю перезаряджується.

## 7. Адсорбція важких металів модифікованим монтморилонітом

Наступним кроком було дослідження адсорбційних властивостей отриманих матеріалів, результати яких представлені на рис. 3. Відомо [15], що природні глини мають схильність до адсорбції катіонних форм важких металів, гідрофобізовані не проявляють іонообмінних властивостей, проте адсорбують органічні речовини [16], а повністю перезаряджені органоглини – адсорбують негативно заряджені аніонні форми важких металів [17]. Тому було вирішено для перевірки ступеню модифікування ММТ дослідити адсорбцію кобальту (II) та хрому (VI), які при  $\text{pH} = 6$  знаходяться в розчині у вигляді катіонів  $\text{Co}^{2+}$  та аніонів  $\text{CrO}_4^{2-}$  і  $\text{HCrO}_4^-$  (експерименти проводили для кожного металу окремо). Порівняння ступенів вилучення хрому (VI) та кобальту (II) представлено на рис. 3, а-г.

Як видно, при невеликих концентраціях ПАР в розчині, алкільний ланцюг розподіляється на поверхні поділу частинок глини та води і перекриває доступні іонообмінні центри для адсорбції катіону. При подальшому збільшенні концентрації ПАР спочатку локально виникають утворення із декількох молекул ПАР, а потім, при ще більшій кількості ПАР, геміміцели на поверхні починають зростати в розмірах, що унеможливує подальшу адсорбцію  $\text{Co}(\text{II})$ , проте, внаслідок перезарядження поверхні, стає доступним адсорбція  $\text{Cr}(\text{VI})$  на поляричних групах ПАР.

При зменшенні довжини ланцюга (рис. 3, а-в) відбувається зменшення адсорбційних властивостей

відносно аніонів та стабільно низькі сорбційні властивості відносно катіонів, що пояснюється нестійкістю другого шару геміміцел, що проявляють аніонообмінні властивості. Проте, перший шар в усіх ПАР тримається досить міцно, і внаслідок своїх гідрофобних властивостей не має схильності до іонообмінної адсорбції. Таке пояснення повністю узгоджується з результатами визначень електрокінетичного потенціалу, що були наведені раніше на рис. 2.

Адсорбція хрому і кобальту на монтморилоніті, модифікованому С1 (рис. 3, з), не зазнає значних змін порівняно з вихідним або немодифікованим мінералом, оскільки катіон С1 є порівняно невеликим і в даному випадку виконує роль стабілізатора дисперсії. При синтезі катіон С1 не спричиняє зміни знаку заряду поверхні і адсорбуючись в міжшаровому просторі частково займає іонообмінні позиції, тому адсорбція Со(II) спадає.

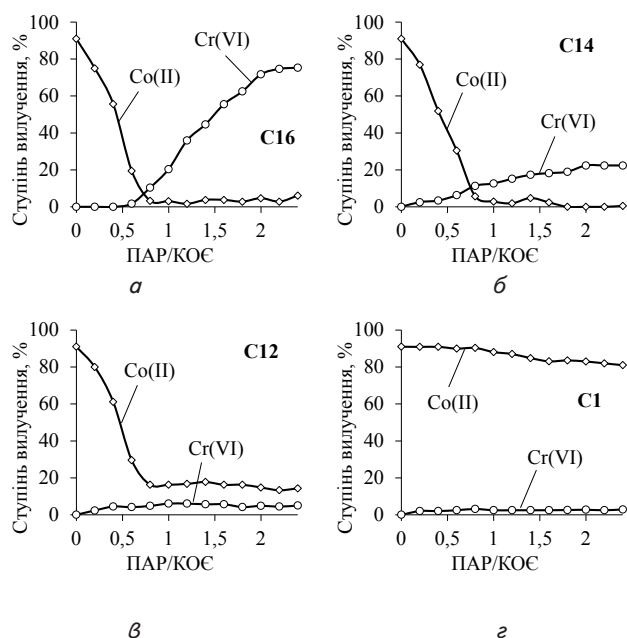


Рис. 3. Ступінь вилучення хрому (VI) та кобальту (II):  
 а – С16; б – С14; в – С12; з – С1

### 8. Висновки

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що спостерігається певна закономірність зміни реологічних характеристик та електрокінетичного потенціалу дисперсій монтморилоніту модифікованих катіонними ПАР з різною довжиною алкільних ланцюгів. При поступовому збільшенні вмісту ПАР в системі для С16, С14 та С12 спочатку спостерігається флокуляція дисперсії внаслідок гідрофобізації поверхні, а при подальшому збільшенні – утворення геміміцел на поверхні мінералу, що обумовлює зміну знаку  $\zeta$ -потенціалу та поступове збільшення адсорбції аніонів синтезованими сорбентами. Проте, найбільшу схильність до повного перезарядження поверхні та утворення геміміцел може забезпечити із розглянутих тільки С16, а для випадку С14 та С12 спостерігається зменшення величини заряду  $\zeta$ -по-

тенціалу та гідрофобізація поверхні, що унеможливорює іонообмінні реакції на поверхні сорбенту. Для випадку С1, можна стверджувати, що введення коротколанцюгових алкіламонійних солей при синтезі майже не впливає на зміну величини  $\zeta$ -потенціалу та адсорбційні характеристики отриманого матеріалу, але додавання даного ПАР доцільне в якості стабілізатору дисперсій. Проведені дослідження підтверджують, що синтезовані сорбенти на основі монтморилоніту за участі алкіламонійних солей із різною довжиною алкільного радикалу мають різну структуру і адсорбційні властивості, що дає можливість готувати сорбенти з визначеними молекулярними структурами на поверхні із заданими властивостями.

### Література

1. Корнілович, Б. Ю. Фізична хімія кремнезему та нанодисперсних силікатів [Текст] : навч. посібник / Б. Ю. Корнілович, О. Р. Андрієвська, М. М. Плем'яніков, Л. М. Спасьонова. – К. : Освіта України, 2013. – 178 с.
2. Bergaya, F. Developments in clay science [Text]. V. 5. Handbook of clay science / F. Bergaya, B. K. G. Theng, G. Lagaly. – Amsterdam : Elsevier, 2013. – 1674 p.
3. Yariv, S. Organo-clay complexes and interactions [Text] / S. Yariv, H. Cross – New York : Marcel Dekker, 2002. – 688 p.
4. De Paiva, L. B. Organoclays: Properties, preparation and applications [Text] / L. B. De Paiva, A. R. Morales, F. V. Diaz // Applied Clay Science. – 2008. – Vol. 42, Issue 1-2. – P. 8–24, doi: 10.1016/j.clay.2008.02.006.
5. Lagaly, G. Characterization of clays by organic compounds [Text] / G. Lagaly // Clay Minerals. – 1981. – Vol. 16, Issue 1. – P. 1–21. doi:10.1180/claymin.1981.016.1.01
6. Mittal, V. Physical adsorption of organic molecules on the surface of layered silicate clay platelets: A thermogravimetric study [Text] / V. Mittal, V. Herle // Journal of Colloid and Interface Science. – 2008. – Vol. 327, issue 2. – P. 295–301, doi: 10.1016/j.jcis.2008.08.036.
7. Hu, Z. Effects of surfactant concentration on alkyl chain arrangements in dry and swollen organic montmorillonite [Text] / Z. Hu, G. He, Y. Liu et al. // Applied Clay Science. – 2013. – Vol. 75-76. – P. 134–140, doi: 10.1016/j.clay.2013.03.004.
8. Kajino, M. Nonisothermal order–disorder phase transition of alkylammonium ions in nanoconfined space [Text] / M. Kajino, T. Saito, M. Okamoto et al. // Applied Clay Science. – 2010. – Vol. 48, Issue 1-2. – P. 73–80, doi: 10.1016/j.clay.2009.11.025.
9. Тарасевич, Ю. И. Природные сорбенты в процессах очистки воды [Текст] / Ю. И. Тарасевич. – К. : Наук. Думка, 1981. – 208 с.
10. Голембіовський, А. О. Фізико–хімічні особливості синтезу органоглин для адсорбції хрому [Текст] / А. О. Голембіовський // Східно–Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 1, № 6 (67). – С. 4–7.
11. Jiang, N. Aggregation behavior of hexadecyltrimethylammonium surfactants with various counterions in aqueous solution [Text] / N. Jiang, P. Li, Y. Wang



- et al. // Journal of Colloid and Interface Science. — 2005. — Vol. 286, Issue 2. — P. 755–760, doi: 10.1016/j.jcis.2005.01.064.
12. Mukerjee, P. Critical Micelle Concentrations of Aqueous Surfactant Systems [Text] / P. Mukerjee, K.J. Mysels. — Washington D.C.: NBS, 1971. — 222 p.
13. Rubingh, D. N. Cationic Surfactants: Physical Chemistry [Text] / D. N. Rubingh, P. M. Holland. — Boca Raton: CRC Press, 1991. — 544 p.
14. Penner, D. Influence of organic and inorganic salts on the coagulation of montmorillonite dispersions [Text] / D. Penner, G. Lagaly // Clays and Clay Minerals. — 2000. — Vol. 48, Issue 2. — P. 246–255, doi: 10.1346/ccmn.2000.0480211.
15. Тарасевич, Ю. И. Адсорбция на глинистых минералах [Текст] / Ю. И. Тарасевич, Ф. Д. Овчаренко. — К.: Наук. Думка, 1975. — 351 с.
16. Koyuncua, H. Adsorption of o-, m- and p-nitrophenols onto organically modified bentonites [Text] / H. Koyuncua, N. Yildiz, U. Salgin et al. // Journal of Hazardous Materials. — 2011. — Vol. 185, Issue 2-3. — P. 1332–1339, doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.10.050.
17. Hu, B. Adsorption of hexavalent chromium onto montmorillonite modified with hydroxyaluminum and cetyltrimethylammonium bromide [Text] / B. Hu, H. Luo. // Applied Surface Science. — 2010. — Vol. 257, Issue 3. — P. 769–775, doi: 10.1016/j.apsusc.2010.07.062.

*Представлено результати вивчення структурних та адсорбційних властивостей монтморилоніту пілардованого полігідроксиокомплексами титану та заліза. Результати рентгенофазового аналізу вказують на присутність полігідроксиокомплексів відповідних металів в міжшаровому просторі монтморилоніту. Показано, що пілардований монтморилоніт має значно вищі іонообмінні властивості, ніж вихідний мінерал, і може ефективно видаляти іони кобальту, хрому та урану з водних розчинів*

*Ключові слова: пілардований монтморилоніт, адсорбція, полігідроксиокомплекс, пориста структура, модифікування, кобальт, хром, уран*

*Представлены результаты изучения структурных и адсорбционных свойств монтмориллонита пиллардированого полигидроксиокомплексами титана и железа. Результаты рентгенофазового анализа указывают на присутствие полигидроксиокомплексов соответствующих металлов в межслоевом пространстве монтмориллонита. Показано, что пиллардированный монтмориллонит имеет более высокие ионообменные свойства, чем исходный минерал, и может эффективно удалять ионы кобальта, хрома и урана из водных растворов*

*Ключевые слова: пиллардированный монтмориллонит, адсорбция, полигидроксиокомплекс, пористая структура, модифицирование, кобальт, хром, уран*

УДК 544.723, 544.023.522, 546.732, 546.791, 546.766

## СОРБЦІЯ ІОНІВ КОБАЛЬТУ, ХРОМУ ТА УРАНУ Fe /Ti - ПІЛАРДОВАНИМ МОНТМОРИЛОНІТОМ

**І. В. Пилипенко**

Аспірант\*

E-mail: igfnig@yandex.ru

**І. А. Ковальчук**

Кандидат хімічних наук,  
старший науковий співробітник  
Інститут сорбції та проблем  
ендоєкології НАН України

E-mail: kov\_irina73@mail.ru

**В. В. Веремєнко\***

E-mail: veremeenko1117@mail.ru

**Л. М. Спасьонова**

Кандидат хімічних наук, доцент\*

E-mail: lar\_spas@yahoo.com

\*Кафедра хімічної технології кераміки та скла  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

### 1. Вступ

Постійний розвиток гірництва, переробки корисних копалин та хімічної технології в цілому зумовлює збільшення відходів різної природи, що можуть потрапляти в навколишнє середовище. Серед забрудників варто зазначити важкі метали, як одні з найбільш небезпечних у зв'язку з їх токсичним впливом на організм людини та живі організми. Іони важких металів в залежності від умов та природи металу можуть пе-

ребувати як у катіонній так і аніонній формі. Остання є найбільш небезпечною, оскільки практично не зв'язується природними мінералами та ґрунтами і легко мігрує в підземні води та відкриті водойми.

Глинисті мінерали, завдяки наявним нестехіометричним ізоморфним заміщенням в структурі, мають достатньо високі адсорбційні властивості та активну поверхню і здатні до катіонного обміну. Однак, природні мінерали практично не здатні до видалення аніонів. У зв'язку з цим глинисті мінерали додатково