

DOI: 10.20535/1810-0546.2018.3.126410

УДК 544.723.21+544.726+54.057

Д.В. Дорошенко*, І.В. Пилипенко, Б.Ю. Корнілович
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

СОРБЦІЯ ІОНІВ КОБАЛЬТУ І МЕТИЛЕНОВОГО БЛАКИТНОГО НАНОКОМПОЗИТАМИ МОНТМОРИЛОНІТ-КРЕМНЕЗЕМ

Проблематика. Погіршення екологічного стану водних ресурсів унаслідок підвищення вмісту неорганічних та органічних токсикантів зумовлює розвиток наукових досліджень у напрямі синтезу сорбційних матеріалів з покращеними сорбційною ємністю та селективністю. Одним із перспективних методів синтезу сорбентів є модифікування шаруватих силікатів, використання яких стримується важкістю їх відділення від рідкої фази.

Мета дослідження. Синтез нанокompatитів на основі монтморилоніту та силікату натрію, дослідження особливостей структуроутворення в таких системах і сорбційних властивостей одержаних гранульованих матеріалів відносно важких металів і органічних барвників.

Методика реалізації. Вивчення особливостей структуроутворення вихідних систем методами реометрії та рентгенофазового аналізу. Дослідження умов синтезу нанокompatитів, а також встановлення взаємозв'язку між складом вихідних систем і сорбційними властивостями.

Результати дослідження. Досліджено особливості структуроутворення у вихідних системах вода–монтморилоніт–силікат, встановлено вплив концентрації силікату натрію на реологічні властивості дисперсій. Показано вплив складу вихідних систем на порувату структуру синтезованих матеріалів та їх сорбційні властивості при вилученні кобальту (II) і метиленового блакитного з водних розчинів.

Висновки. Встановлено, що залежність граничного напруження зсуву та пластичної в'язкості системи монтморилоніт–розчин силікату натрію має екстремальний характер (екстремум за вмісту 0,1–1 % SiO₂), який пов'язаний з переходом коагуляційних контактів у кристалізаційні за рахунок утворення силосанових зв'язків. Експериментально підтверджено, що збільшення вмісту монтморилоніту в одержаних матеріалах покращує їх сорбційну ємність (до 450 мкмоль/г) до вилучення кобальту (II) та метиленового блакитного.

Ключові слова: монтморилоніт; сорбція; кобальт; метиленовий блакитний; силікат натрію; структуроутворення; нанокompatит; термообробка.

Вступ

Зростання забруднення водного басейна неорганічними та органічними токсикантами зумовлює розвиток наукових досліджень у галузі синтезу сорбційних матеріалів із покращеними селективністю та сорбційною ємністю. Серед найбільш небезпечних забруднювачів – сполуки важких металів і органічні барвники.

Останніми десятиріччями при розробці методів їх видалення значну увагу приділяють так званім напівсинтетичним сорбційним матеріалам, які одержують на основі часткової переробки дешевої природної сировини. Перспективними для одержання таких матеріалів є нанодисперсні мінерали – шаруваті силікати.

Одним із найбільш широко вживаних дисперсних мінералів у сорбційній практиці є монтморилоніт, для покращення характеристик якого часто використовують різні фізико-хімічні (гідротермальна та механохімічна обробка) та хімічні (модифікування поверхні з використанням різних поверхнево-активних речовин і по-

лігідроксокомплексів металів) методи. Однак його використання в технологіях водоочищення стримується характерною властивістю монтморилоніту самочинно диспергуватись у воді до практично елементарних структурних пакетів з утворенням стійких дисперсій, що викликає значні труднощі з розділенням рідкої та твердої фаз після проведення процесу сорбції. Для вирішення такої проблеми використовують гранулювання мінералів із використанням термічної обробки, водорозчинних полімерів тощо [1–3]. Проте застосування цих методів пов'язане зі значним зменшенням сорбційної ємності монтморилоніту за рахунок втрати структурних пакетів мінералу, здатності до набухання і, таким чином, обмеження доступних до іонного обміну сорбційних центрів на внутрішній поверхні сорбенту [1].

Серед найбільш обгрунтованих підходів до вирішення цієї проблеми є використання як реагентів-структуроутворювачів розчинних силікатів лужних металів. Одержувані на їх основі силікагелі різних марок досить широко вико-

* corresponding author: doroshenko_dima@ukr.net

ристовуються в сорбційних технологіях при розділенні та збагаченні радіонуклідів і при вирішенні екологічних проблем у гідрометалургії [4].

Композити, що отримані за таким методом, можуть мати міцну каркасну мікропористу структуру завдяки тому, що алюмокремнекисневі пакети монтморилоніту зв'язані між собою молекулами кремнекислоти, які утворилися внаслідок гідролізу силікатів лужних металів [5].

Постановка задачі

Мета роботи полягає в синтезі нанокompозитів на основі монтморилоніту та силікату натрію, дослідженні особливостей структуроутворення в таких системах і сорбційних властивостей одержаних гранульованих матеріалів відносно важких металів і органічних барвників.

Методика експерименту

Як об'єкт дослідження було використано монтморилоніт Черкаського родовища (Україна) із загальною структурною формулою $(Ca, Na)_{0,2}(Al, Mg, Fe)_2[(Si, Al)_4O_{10}](OH)_{2 \times n}H_2O$, що був попередньо очищений від домішок кварцу та переведений у Na-форму.

Концентрацію силікату натрію, необхідного для синтезу, брали в інтервалі 0,1–10 мас. % (за SiO_2) до монтморилоніту. Для приготування зразків до попередньо обробленої на ультразвуковому диспергаторі (УЗДН-2Т) 5 % суспензії Na-форми монтморилоніту додавали відповідний об'єм розчину силікату натрію (з концентрацією 27 % SiO_2 (Sigma-Aldrich)) у діапазоні 0,1–10 мас. % (за SiO_2), перемішували на магнітній мішалці протягом 1 год. До отриманої суспензії додавали аліквоту 0,5 М розчину сульфатної кислоти (кваліфікації чда), для гідролізу силікату натрію, перемішували та залишали для утворення гелю. Отриманий гель витримували 12 год при 60 °С для завершення процесів структуроутворення, висушували при 60 °С, розмелювали та просіювали. Зразки позначені відповідно до масової частки монтморилоніту відносно силікагелю (від 100 до 23 % монтморилоніту).

Гранульовані зразки одержували з отриманого вологого гелю методом пластичного формування з подальшою сушкою при 200 °С і випалом при 650 °С. Таким чином було отримано механічно міцні та водостійкі гранули довжиною 5–8 мм і діаметром 2–3 мм.

Процеси структуроутворення в системі досліджували на основі реологічного аналізу, що дає можливість охарактеризувати еволюцію одиничних контактів у глинистих дисперсіях при введенні в них силікату натрію [6, 7]. Реологічні дані були отримані за допомогою ротаційного віскозиметра “Rheotest-2” при 25 °С. Для характеристики реологічних кривих використовували модель Бінгама–Шведова, що описується рівнянням

$$\tau = \tau_0 + \eta D,$$

де τ і τ_0 – напруження та граничне напруження зсуву відповідно; η – пластична в'язкість; D – швидкість зсуву (деформації) [8].

Рентгенофазовий аналіз зразків проводили за допомогою дифрактометра ДРОН-4-07 у діапазоні 2–40° 2 θ (CuK α -випромінювання). Сумарний об'єм пор одержаного композиту визначали ексікаторним методом по воді за відомою методикою [9].

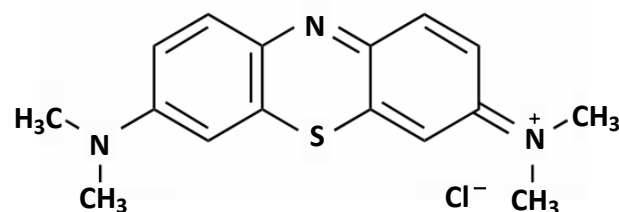


Рис. 1. Структурна формула метиленового блакитного

Для вивчення процесів сорбції вихідні розчини метиленового блакитного (МБ) та Со(II) готували із солей $C_{16}H_{18}ClN_3SCl$ (структурна формула показана на рис. 1) та $CoCl_2 \cdot 6H_2O$. Іонну силу (0,01 моль/л) розчинів було встановлено за допомогою NaCl. Адсорбційні експерименти проводили у статичних умовах. Після встановлення адсорбційної рівноваги тверду і рідку фази розділяли центрифугуванням (5000 об/хв). Наважка адсорбенту становила 0,1 г на 50 см³ розчину. Тривалість адсорбційних експериментів становила 1 і 5 год. Встановлення залишкової концентрації іонів у розчині проводили за стандартними методиками за довжини хвилі 665 нм для МБ, а для Со(II) з використанням нітрито-R солі на спектрофотометрі UNICO-UV 2100 при 520 нм.

Результати і їх обговорення

Як видно з рисунка 2, а, внесення силікату натрію в дисперсії монтморилоніту суттєво

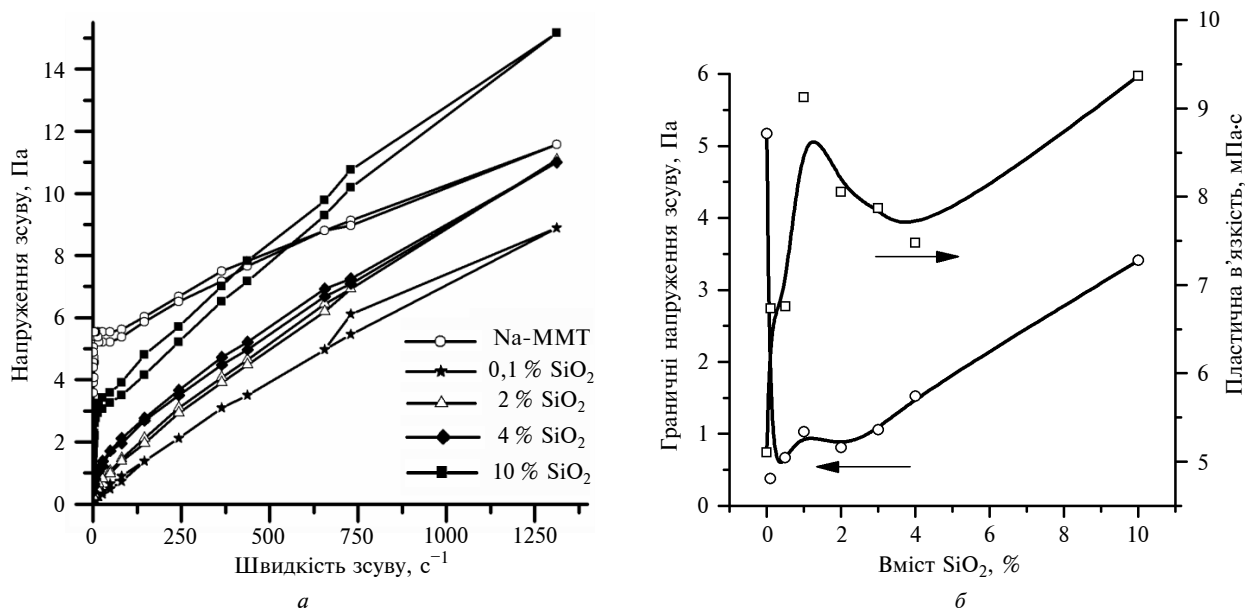


Рис. 2. Криві течії 3 %-ної суспензій монтморилоніту з різним вмістом силікату натрію (а) та залежності граничного напруження зсуву і пластичної в'язкості від вмісту SiO₂ у системі (б)

впливає на характер процесів структуроутворення в них. Отримані результати реологічних досліджень показують, що при додаванні силікату натрію в системі (до 0,1 % SiO₂) різко зменшується величина граничного напруження зсуву, яка потім повільно зростає при подальшому збільшенні концентрації силікату натрію (рис. 2, б).

Така поведінка характерна для суспензій глинистих мінералів у розчинах електролітів із багатозарядними неорганічними й органічними аніонами, що пов'язано зі зміною типу взаємодії між анізотропними частинками глинистого мінералу [10, 11]. Так, для суспензії Na-форми монтморилоніту при рН 4–6 характерне утворення структур, у яких частинки взаємодіють між собою катіонообмінними центрами базальної поверхні та бічними гранями мінералу (за типом “ребро–грань”). Величина граничного напруження при цьому пропорційна зусиллю, яке необхідно створити для руйнування коагуляційних контактів у структурі [6, 7].

Зміна пластичної в'язкості має інший характер (див. рис. 2, б). Зростання відповідних величин в інтервалі до 1 %, у якому спостерігається зменшення величини граничного напруження зсуву, пов'язане зі збільшенням концентрації частинок дисперсної фази за рахунок самодиспергації крупних агрегатів монтморилоніту на менші за розміром або на окремі елементарні структурні пакети в лужному середовищі.

При вмісті силікату натрію більше 1 % спостерігається деяке зниження величини пластичної в'язкості, але при подальшому додаванні розчину силікату натрію значно збільшується рН системи і відбувається прискорення процесів полімеризації іонів кремнієвої кислоти, які переважно сорбуються на гідроксильних групах (=Al-OH та ≡Si-OH) бічної поверхні частинок монтморилоніту. Розвиток процесів полімеризації при збільшенні вмісту SiO₂ у системі обумовлює можливість переходу слабких структурних коагуляційних контактів у міцні кристалізаційні контакти за рахунок утворення міжчастинкових силосанових зв'язків (=Si-O-Si=) [12]. Утворення таких структур, ймовірно, відбувається за аналогічним механізмом, як і у випадку з використанням тетраоксидсилану як джерела кремнезему [13]. Величина граничного напруження зсуву при цьому починає зростати.

Результати реологічного аналізу характеру процесів структуроутворення в системі монтморилоніт–силікати натрію підтверджуються даними рентгенографічних досліджень. Дифрактограми модифікованих зразків (рис. 3) вказують на фіксацію в них характерного базального рефлексу монтморилоніту (1,26 нм) навіть при істотному зниженні його вмісту в досліджуваній системі. Це свідчить про збереження впорядкованості в розміщенні структурних алюмосилікатних пакетів унаслідок утворення силосанових зв'язків між ними при полімеризації мо-

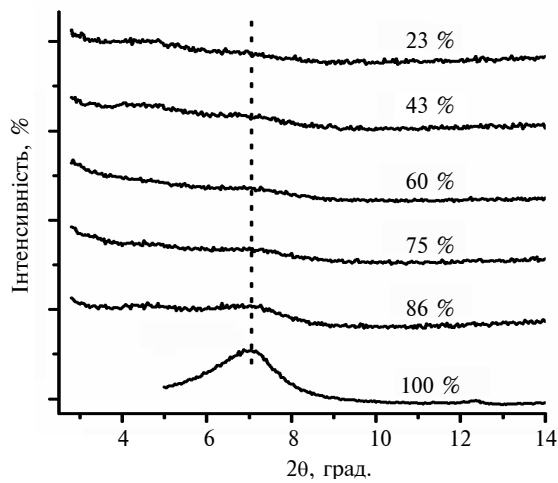


Рис. 3. Дифрактограми зразків вихідного та обробленого силікатом натрію монтморилоніту

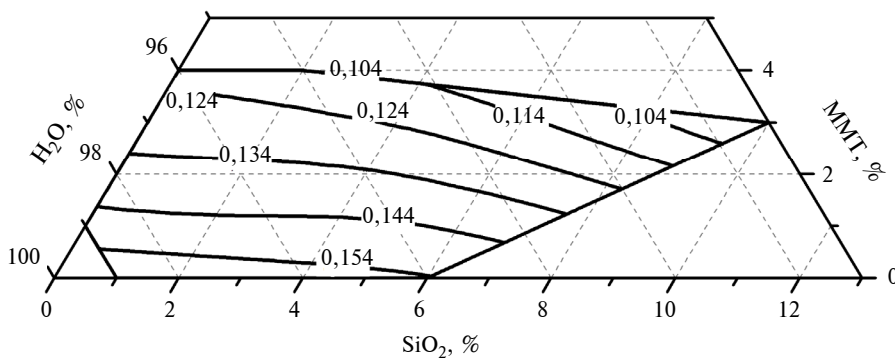


Рис. 4. Залежність сумарного об'єму пор (V_{Σ} , $\text{cm}^3/\text{г}$) зразків від складу вихідної системи монтморилоніт–вода–силікат натрію (за SiO_2)

лекул кремнекислоти. При збільшенні ж вмісту силікату натрію в системі на дифрактограмах фіксується тільки рентгеноаморфний кремнезем.

Залежно від складу вихідної системи значно змінюється така структурна характеристика одержаних матеріалів, як величина сумарного об'єму пор (V_{Σ}) (рис. 4).

Так, при зменшенні вмісту SiO_2 у системі збільшується сумарний об'єм пор, і при концентрації SiO_2 менше 1 % величина V_{Σ} є максимальною в досліджуваному діапазоні і становить $0,19 \text{ cm}^3/\text{г}$. При цьому збільшення вмісту монтморилоніту в системі дещо знижує величину сумарного об'єму пор, однак може приводити до збільшення вмісту мезо- та макропор, що позитивно впливає на сорбційні властивості матеріалів [5].

Як видно з ізоTERM сорбції, одержані матеріали характеризуються достатньо високими сорбційними характеристиками (рис. 5). Результати обчислення ізоTERM за рівнянням Ленгмюра наведено в таблиці.

Також була обчислена питома поверхня зразків ($\text{m}^2/\text{г}$) за формулою

$$S_{\text{пит}} = a_{\infty} \cdot N_A \cdot s_m,$$

де a_{∞} – ємність моноша-

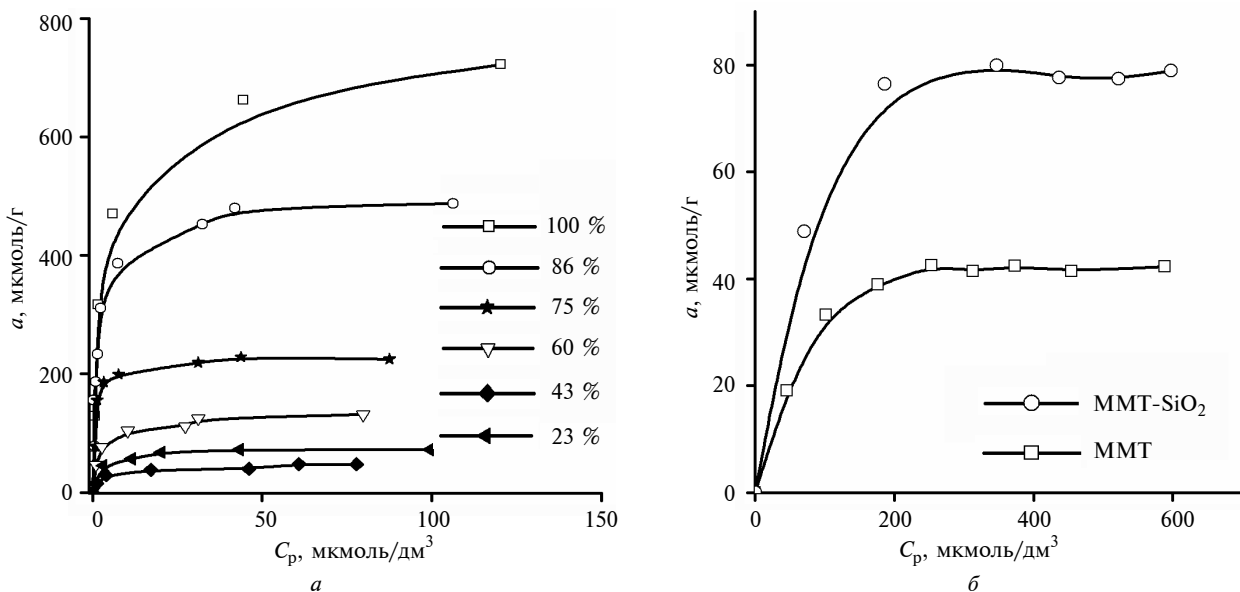


Рис. 5. ІзоТЕРМИ сорбції МБ зразками композитів з різним вмістом монтморилоніту (а) та сорбції Co(II) зразками, термообробленими при $650 \text{ }^\circ\text{C}$, вихідного монтморилоніту і гранульованого композиту (монтморилоніт– SiO_2) (б)

Таблиця. Коефіцієнти рівнянь адсорбції кобальту (II) і МБ зразками композиту та вихідного монтморилоніту

Зразок	За Фрейндліхом			За Ленгмюром			
	K_F дм ³ /мкмоль	n	R^2	K_L дм ³ /мкмоль	a_∞ , мкмоль/г	R^2	$S_{\text{пит}}$, м ² /г
Кобальт (II)							
МТ	10,7	4,4	0,770	0,0184	48,4	0,934	–
МТ-SiO ₂	26,2	5,6	0,729	0,0214	87,3	0,887	–
Метиленовий блакитний							
100 %	264,2	4,5	0,947	0,3825	714,9	0,995	326
86 %	235,7	5,7	0,914	0,7759	479,1	0,946	215
75 %	135,9	7,6	0,725	1,0330	230,1	0,930	104
60 %	59,9	5,2	0,911	0,5264	128,2	0,972	67
43 %	18,8	4,6	0,912	0,3727	46,7	0,945	28
23 %	32,5	5,0	0,832	0,4477	73,9	0,984	47

ру (гранична адсорбція), моль/г, N_A – число Авогадро $6,023 \cdot 10^{23}$ (моль⁻¹), s_m – площа, яку займає одна молекула МБ на поверхні (75 \AA^2) [14].

Так, величини граничної адсорбції (a_∞) метиленового блакитного (див. рис. 5, а) вказують на зростання сорбційної ємності при збільшенні вмісту монтморилоніту в одержаних матеріалах з 40 до 450 мкмоль/г (у перерахунку на систему SiO₂–монтморилоніт), що перевищує сорбційну ємність чистого силікагелю відносно вилучення іонів МБ (200–300 мкмоль/г) [15].

Ізотерми сорбції іонів кобальту (див. рис. 5, б) зразками гранульованих термооброблених композитів також вказують на достатньо високу ефективність одержаних матеріалів. Результати обчислення ізотерм за рівняннями Фрейндліха і Ленгмюра наведено в таблиці. Так, величина граничної адсорбції становить 80 мкмоль/г. Слід відзначити, що для зразків монтморилонітів, які піддавали термічній обробці без додавання силікату натрію, ця величина вдвічі менша і становить 40 мкмоль/г [1].

Високі величини коефіцієнтів кореляції R^2 вказують на можливість застосування обох моделей для опису процесів сорбції іонів кобальту і МБ на досліджуваних зразках. Разом із тим модель Ленгмюра краще описує експериментальні дані для зразка термообробленого монтморилоніту (МТ), що підтверджується відповідним значеннями коефіцієнтів кореляції 0,934. Для зразка гранульованого композиту (МТ-SiO₂) спостерігається збільшення величин граничної адсорбції (a_∞ , мкмоль/г) і константи адсорбційної рівноваги (K_L , дм³/мкмоль). Модель Фрейндліха дещо гірше, ніж модель Ленг-

мюра, описує ізотерми сорбції кобальту і МБ на досліджуваних зразках ($R^2 = 0,725\text{--}0,947$).

Розраховані за ізотермами сорбції МБ величини питомої поверхні одержаних нанокompозитів достатньо близькі до відповідних величин, що отримані за низькотемпературною сорбцією азоту для подібних матеріалів (25–150 м²/г) [13].

Висновки

У результаті реологічних досліджень встановлено, що залежність структурно-механічних характеристик системи монтморилоніт–розчин силікату натрію від вмісту останнього має екстремальний характер (екстремум за вмісту 0,1–1 % SiO₂) і пов'язаний із розвитком процесів полімеризації молекул кремнієвої кислоти при збільшенні вмісту Na₂SiO₃, який обумовлює можливість переходу слабких структурних коагуляційних контактів у міцні кристалізаційні контакти за рахунок утворення міжчастинкових силосанових зв'язків.

Показано, що збільшення вмісту монтморилоніту в одержаних сорбентах покращує їх сорбційну ємність (до 450 мкмоль/г) щодо вилучення кобальту і катіонного барвника метиленового блакитного з водних розчинів.

Продовжуються дослідження в цьому напрямі з перспективою отримання ефективних водостійких гранульованих сорбентів, які можуть бути застосовані для вилучення важких металів, радіонуклідів та органічних барвників із забруднених вод з використанням дешевих і поширених вихідних матеріалів (природних глинистих мінералів, силікату натрію тощо).

References

- [1] V.Yu. Tobilko *et al.*, “Sorption of uranium and cobalt ions by thermally modified layered silicates”, *Dopovidi Natsionalnoyi Akademiyi Nauk Ukrainy*, vol. 5, pp. 150–155, 2010.
- [2] I.V. Pylypenko, “Granulated composite for removing cobalt and methylene blue ions”, *Vostochno-Evropeysky Zhurnal Peredovykh Tekhnolohyy*, vol. 2, no. 11(68), pp. 16–20, 2014. doi: 10.15587/1729-4061.2014.22937
- [3] I.V. Pylypenko *et al.*, “Synthesis and sorption properties of Ti- and Ti/Al-pillared montmorillonite”, *Khimiya, Fizyka ta Tekhnolohiya Poverkhni*, vol. 6, no. 3, pp. 336–342, 2015, doi: 10.15407/hftp06.03.336.
- [4] B.N. Laskorin *et al.*, *Sorbents on the Basis of Silica Gel in Radiochemistry*. Moscow, SU: Atomizdat, 1974.
- [5] V.S. Komarov, *Scientific Bases of Adsorbents Synthesis*. Minsk, Belarus: Belarus. Navuka, 2013.
- [6] S. Abend and G. Lagaly, “Sol-gel transitions of sodium montmorillonite dispersions”, *Appl. Clay Sci.*, vol. 16, no. 3-4, pp. 201–227, 2000. doi: 10.1016/S0169-1317(99)00040-X
- [7] E. Tombácz and M. Szekeres, “Colloidal behavior of aqueous montmorillonite suspensions: the specific role of pH in the presence of indifferent electrolytes”, *Appl. Clay Sci.*, vol. 27, no. 1-2, pp. 75–94, 2004. doi: 10.1016/j.clay.2004.01.001
- [8] H. Shramm, *Fundamentals of Practical Rheology and Rheometry*. Moscow, Russia: KolosS, 2003.
- [9] N.V. Kel'tsev, *Fundamentals of Adsorption Technology*, 2nd ed. Moscow, SU: Khimiya, 1984.
- [10] P. Marco *et al.*, “The effects of some polyelectrolyte chemical compositions on the rheological behaviour of kaolin suspensions”, *Powder Technol.*, vol. 148, no. 1, pp. 43–47, 2004. doi: 10.1016/j.powtec.2004.09.019
- [11] D. Penner and G. Lagaly, “Influence of anions on the rheological properties of clay mineral dispersions”, *Appl. Clay Sci.*, vol. 19, no. 1-6, pp. 131–142, 2001. doi: 10.1016/S0169-1317(01)00052-7
- [12] A.B. Bourlinos *et al.*, “Clay-organosiloxane hybrids: a route to cross-linked clay particles and clay monoliths”, *Chem. Mater.*, vol. 16, no. 12, pp. 2404–2410, 2004. doi: 10.1021/cm049975z
- [13] Z. Qian *et al.*, “Preparation and characterization of montmorillonite-silica nanocomposites: A sol-gel approach to modifying clay surfaces”, *Physica B: Condensed Matter.*, vol. 403, no. 18, pp. 3231–3238, 2008. doi: 10.1016/j.physb.2008.04.008
- [14] N. Hegyesi *et al.*, “Determination of the specific surface area of layered silicates by methylene blue adsorption: The role of structure, pH and layer charge”, *Appl. Clay Sci.*, vol. 146, pp. 50–55, 2017. doi: 10.1016/j.clay.2017.05.007
- [15] A.K. Kushwaha *et al.*, “Enhanced adsorption of methylene blue on modified silica gel: equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies”, *Desalination and Water Treatment*, vol. 52, no. 22–24, pp. 4527–4537, 2014. doi: 10.1080/19443994.2013.803319

Д.В. Дорошенко, И.В. Пилипенко, Б.Ю. Корнилович

СОРБЦИЯ ИОНОВ КОБАЛЬТА И МЕТИЛЕНОВОГО ГОЛУБОГО НАНОКОМПОЗИТАМИ МОНТМОРИЛЛОНИТ-КРЕМНЕЗЕМ

Проблематика. Ухудшение экологического состояния водных ресурсов вследствие повышения содержания неорганических и органических токсикантов обуславливает развитие научных исследований в направлении синтеза сорбционных материалов с улучшенными сорбционной емкостью и селективностью. Одним из перспективных методов синтеза сорбентов является модифицирование слоистых силикатов, использование которых сдерживается сложностью отделения последних от жидкой фазы.

Цель исследования. Синтез нанокмозитов на основе монтмориллонита и силиката натрия, исследование особенностей структурообразования в таких системах и сорбционных свойств полученных гранулированных материалов в отношении тяжелых металлов и органических красителей.

Методика реализации. Изучение особенностей структурообразования исходных систем методами реометрии и рентгенофазового анализа. Исследование условий синтеза нанокмозитов, а также установление взаимосвязи между составом исходных систем и сорбционными свойствами.

Результаты исследования. Исследованы особенности структурообразования в исходных системах вода–монтмориллонит–силикат, установлено влияние концентрации силиката натрия на реологические свойства дисперсий. Показано влияние состава исходных систем на пористую структуру синтезированных материалов и их сорбционные свойства при извлечении кобальта (II) и метиленового голубого из водных растворов.

Выводы. Установлено, что зависимость предельного напряжения сдвига и пластической вязкости системы монтмориллонит–раствор силиката натрия имеет экстремальный характер (экстремум при содержании 0,1–1 % SiO₂), который связан с переходом коагуляционных контактов в кристаллизационные за счет образования силосановых связей. Экспериментально подтверждено, что увеличение содержания монтмориллонита в полученных материалах улучшает их сорбционную емкость (до 450 мкмоль/г) к извлечению кобальта (II) и метиленового голубого.

Ключевые слова: монтмориллонит; сорбция; кобальт; метиленовый голубой; силикат натрия; структурообразование; нанокмозит; термообработка.

D.V. Doroshenko, I.V. Pylypenko, B.Yu. Kornilovych

SORPTION OF COBALT AND METHYLENE BLUE IONS BY MONTMORILLONITE-SILICA NANOCOMPOSITES

Background. Deterioration of ecological state of water resources due to increasing content of inorganic and organic toxicants causes the development of scientific research in the direction of sorption materials synthesis, that have improved sorption capacity and selectivity. One of the promising methods for sorbents' synthesis is the modification of layered silicates, the use of which is restrained by difficulties in separation of latter from the liquid phase.

Objective. The aim of the paper is a synthesis of nanocomposites, based on montmorillonite and sodium silicate, study of structure formation features in such systems and sorption properties of the obtained granular materials in relation to heavy metals and organic dyes.

Methods. Research of structure formation features in the initial systems by the methods of rheometry and X-ray phase analysis. Condition investigation for the nanocomposites synthesis. Relationship establishment between composition in the initial systems and sorption properties.

Results. The structure formation features in the initial water–montmorillonite–silicate systems are studied, the effect of sodium silicate concentration on the rheological properties of the dispersions is established. The effect of the initial system composition on the porous structure of synthesized materials and their sorption properties to remove the cobalt (II) and methylene blue from aqueous solutions is shown.

Conclusions. It was found that the limiting shear stress and plastic viscosity dependence of the montmorillonite–sodium silicate solution system has an extreme character (extremum at 0.1–1 % SiO₂ content), which is associated with the transition of coagulation contacts into crystallization contacts due to siloxane bonds formation. It has been experimentally confirmed, that an increase in the content of montmorillonite in the obtained materials improves their sorption capacity (up to 450 μmol/g) to the cobalt (II) and methylene blue removal.

Keywords: montmorillonite; sorption; cobalt; methylene blue; sodium silicate; structure formation; nanocomposite; heat treatment.

Рекомендована Радою
хіміко-технологічного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
20 березня 2018 року

Прийнята до публікації
31 травня 2018 року