

взаємодія посилюється електростатичною взаємодією та утворенням водневих зв'язків. Десорбція протікає в звичайних умовах, що додатково підтверджує ефективність обраних сорбентів.

Джерела інформації

1. А.Ф. Тимчук, О.О. Стрельцова, А.Д. Пуріч Сорбційне вилучення аполярних рідин природними високомолекулярними сполуками. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2023. Т.28, вип.1(84). С.58-65. [https://doi.org/10.18524/23040947.2023.1\(84\).277064](https://doi.org/10.18524/23040947.2023.1(84).277064)

УДК 628.161.2:54-414:661.183.2

ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНОГО СОРБЕНТУ НА ОСНОВІ АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ ТА КІЗЕЛЬГУРУ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ІОНІВ КУПРУМУ(II) З ВОДИ

Худоярова О. С., к. т. н., доцент, Мельник С. А., здобувачка СВО бакалавра

Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського, м. Вінниця

Природні, штучні та синтетичні сорбенти застосовують в різних галузях промисловості, починаючи від нафтопереробної до харчової. Відомо широке застосування їх для очищення води, освітлення фруктових соків, вин і пива, рафінування рослинних олій, очищення відпрацьованих мінеральних олів [1]. Використання сорбентів передбачає їх майбутню регенерацію, або ж утилізацію [2]. Вивіз відпрацьованих сорбентів на сміттєзвалища є найбільш простим способом вирішення проблеми їх утилізації. Утилізацію можна реалізувати шляхом використання відпрацьованих сорбентів для виготовлення інших цінних матеріалів [3,4].

Сьогодні одним з перспективних напрямків розвитку «зеленої хімії» є розробка нових матеріалів багатофункціонального призначення на основі відходів промисловості з використанням малостадійних і енергоефективних способів обробки [5]. Такий підхід дозволяє розробити ефективні напрямки утилізації відходів. Наприклад, шляхом модифікування можна одержати ефективні, дешеві та доступні сорбенти екологічного призначення. Як доступні і дешеві джерела зазначених матеріалів використовують різні відходи промисловості, наприклад, багатотоннажні відходи харчової промисловості. Вони можуть розглядатися як перспективне джерело сировини для одержання дешевого виду сорбентів багатофункціонального призначення. Властивості будь-яких сорбентів в значній мірі визначаються умовами одержання, зміною яких можна впливати на структуру та хімічний склад матеріалів. При виробництві цукрового сиропу для безалкогольних напоїв утворюється велика кількість відходів сорбентів, до яких входять активоване вугілля та кизельгур. В останні роки відпрацьований кизельгур і активоване вугілля розглядаються не як відходи, а як вторинна сировина. Раніше дослідженнями [2, 6] встановлено можливість регенерації відпрацьованого сумішевого сорбенту харчової промисловості, який складався з активованого вугілля та кизельгуру у співвідношенні 4:6. Відновлення сорбційної здатності після регенерації автори пояснили проходженням кислотно-основних хімічних реакцій на поверхні сорбенту та вимиванням продуктів їх взаємодії з водою. Запропонована авторами технологія регенерації відпрацьованого сорбенту дозволяє на 100 % відновити його сорбційну здатність з виходом 98 %. Велика кількість технічної води 995 л (~ 83 %), яка використовується одночасно, направляється на повторне сорбційне очищення з

формуванням замкнутого технологічного циклу. У роботах [7,8] досліджено використання регенованого сорбенту для сорбційного очищення сульфідно-лужних стічних вод хімічної та нафтохімічної промисловості. Ступінь вилучення сульфід- і гідросульфід-іонів з водних розчинів залежить від їх концентрації, часу адсорбції і маси використовуваного сорбенту. Ступінь видалення сульфід- і гідросульфід-іонів регенованим сорбентом з водних розчинів становить близько 96 %. Аналіз отриманих даних підтверджує ефективність використання досліджуваного сорбенту в запропонованій технології.

Наявність навіть невеликої кількості певних поверхневих груп або атомів може суттєво вплинути на характеристики активованого вугілля та кізельгуру та докорінно змінити параметри процесів з їх участю. Досліджено ефективність використання регенованого сорбенту харчової промисловості, модифікованого сульфід- та гідросульфід-іонами, для адсорбційного видалення іонів Купруму (II) з води. Проведено порівняльний аналіз ступеня екстракції та адсорбції іонів Купруму (II) немодифікованим сорбентом та його модифікованою формою. Незначна адсорбція Cu^{2+} на поверхні немодифікованого сорбенту пояснюється як природою адсорбату, так і морфологією сорбенту після його кислотнo-лужної активації. Сорбція іонів Cu^{2+} здійснюється переважно карбоксильними групами. Попередня модифікація поверхні сорбенту більш активними сульфід- та гідросульфід-іонами призводить до значного підвищення його адсорбції по відношенню до іонів Купруму (II). Адсорбція починається з утворення сорбційного комплексу між сорбатом (Cu^{2+}) і первинно активованим центром сорбенту. Фізико-хімічна модифікація поверхні матриці відбувається шляхом утворення координаційного центру $\text{CuS}_2(\text{HS})_2(\text{H}_2\text{O})_2$ [11]. Враховано можливу каталітичну дію активованого вугілля на проходження топохімічних перетворень на поверхні сорбенту. Це призведе до зміни валентно-координаційного вузла. При цьому будуть утворюватися полісульфіди CuS_x ($x = 2, 3$) з подальшим диспропорціюванням до купруму(II) сульфіді і елементарної сірки [9-11]. Можливість топохімічних перетворень встановлена ІЧ-спектральними та рентгенофазовими дослідженнями. Застосування сорбенту, модифікованого сульфід- та гідросульфід-іонами, збільшує видалення катіонів Купруму (II) із досліджуваних розчинів у 65,5 рази. Отримані результати дозволяють рекомендувати використання регенованого сорбенту харчової промисловості, модифікованого сульфід- та гідросульфід-іонами, для очищення води від іонів Купруму (II).

Джерела інформації

1. Khudoyarova O., Gordienko O., Titov T., Ranskiy A., Dykha A. Adsorptive regeneration of waste industrial oils. *Problems of tribology*. 2020. 22/96, PP. 19–24. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-96-2-19-24>
2. Ranskiy A.P., Khudoyarova O.S., Gordienko O.A., Titov T.S., Kryklyvyi R.D. Regeneration of Sorbents Mixture After the Purification of Recycled Water in Production of Soft Drinks. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2019. 41(5). PP. 318-321. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1063455X19050084>
3. Khudoiarova O., Blazhko O., Blazhko A. Receiving of new carbon-sulfur-containing plastic lubricants based on regenerated products and used sorbents. *Key Engineering Materials*. 2023. 944. PP. 51-58. DOI: <https://doi.org/10.4028/p-8hu326>
4. Ранський А.П., Гордієнко О. А., Худоярова О. С., Крикливий Р. Д. Композиційні матеріали та консистентні мастила з підвищеними трибологічними властивостями. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій: матеріали VI Міжнародної конференції*, 13-15 вересня 2018 р., Вінниця, Україна. Частина 1. Вінниця: ВНТУ, 2018. С. 61–62.
5. Khudoiarova O., Ranskiy A., Korinenko B., Gordienko O., Sydoruk, T., Didenko N., Kryklyvyi R. Integration of technological cycles of industrial waste processing. *Journal of*

Ecological Engineering, 2021. 22 (6), PP. 209-213. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/137821>

6. Спосіб регенерації суміші активованого вугілля та кізельгуру від органічних забруднювачів: пат. 134391 Україна. C01B 32/30, C01B 32/36, B01J 20/34. № 134391 МПК (2017.01), (2006.01). Опубл. 10.05.2019.

7. Худоярова О.С., Гордієнко О.А., Тітов Т.С., Ранський А.П., Крикливий Р.Д. Знесірчення промислових сульфідно-лужних розчинів сумішевими сорбентами. *Вісник ВПІ*. 2020. Вип. 1. С. 13–22. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-148-1-13-22>

8. Khudoiarova, O.; Gordienko, O.; Sydoruk, T.; Titov, T.; Petruk, R.; Prokopchuk, S. Adsorptive desulfurization of sewage of industrial production. *Environmental Problems*, 2020. 2 (5), PP. 102-106. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2020.02.102>

9. Худоярова О.С., Гордієнко О.А., Сидорук Т.І., Тітов Т.С., Ранський А.П. Модифікація поверхні сумішних сорбентів сульфід-іонами для очищення гальванічних промивних вод процесу міднення. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2020. № 2(19). С. 36–46. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2020.208054>

10. Khudoyarova, O.S.; Ranskiy, A.P.; Gordienko, O.A. Technology of complex sorption treatment of industrial wastewater from sulphide and Copper (II)-iones. *Water and water purification technologies. Scientific and Technical News*, 2021. 30 (2). PP. 18-26. DOI: <https://doi.org/10.20535/2218-930022021237814>

11. Худоярова О.С. Комплексне сорбційне очищення промислових стічних вод від сульфід- та купрум (II) – іонів: дис... канд. техн. наук.: 05.17.21. Вінниця, 2021. 170 с.