УДК 678.046
DOI: https://doi.org/10.52363/2524-2636.2025.9.1.8

***Марія КУЦЕНКО*[1]*,** канд. екон. наук, доцент (ORCID: 0000-0001-6879-9187)*
***Ігор РОМАНЮК*[2]*,** канд. техн. наук (ORCID: 0000-0003-0427-5645)*
***Олег МИРОШНИК*[1]*,** д-р. техн. наук, проф. (ORCID: 0000-0001-8951-9498)*
***Юрій КУЦЕНКО*[3] *(ORCID: 0009-0000-1786-4663)*
[1]*Національний університет цивільного захисту України*
[2]*Головне управління ДСНС України у Полтавській області*
[3]*Рада національної безпеки і оборони України*

ДОСЛІДЖЕННЯ АДСОРБЦІЇ ВОГНЕГАСНИХ СОЛЕЙ ВИСОКОПОРИСТИМИ НОСІЯМИ

На сьогодні найефективнішими та найперспективнішими засобами пожежогасіння є засоби, засновані на фізико-хімічному механізмі інгібування. До них відносяться вогнегасні порошкові композиції, що складаються з компонентів, які використовуються як мінеральні добрива в рослинництві. Тому вони не отруюють ні ґрунти, ні водойми. Але в деяких випадках застосування таких складів не дає належного ефекту. Зокрема, це стосується гасіння загорянь горючих рідин, розлитих на поверхню водойм, та запобігання поширенню пожежі на торфовищах. Для таких випадків було розроблено агенти, які є пористими носіями з вогнегасною сіллю, іммобілізованою на внутрішній поверхні порожнин. При розробці таких засобів насамперед необхідно вибрати носій з відповідною адсорбційною здатністю по відношенню до обраної вогнегасної солі. Засоби, призначені для гасіння пожеж легкозаймистих рідин, розлитих на поверхню водойм, повинні постійно перебувати в зоні горіння рідини, якщо не над поверхнею рідини, то на її поверхні. Відповідно, носій повинен мати невелику насипну щільність. Для запобігання передчасного вимивання з порожнин вогнегасного компонента пори повинні мати такий діаметр, щоб поверхневий натяг води перешкоджав її проникненню в порожнини. Крім того, вимоги до носія включають достатню механічну міцність, доступність і низьку вартість. Виходячи з цих вимог досліджували: вугілля медичне активоване, макропористий кополімер стиролу, катіоніт КУ-23, перліт, вермикуліт, тирсу вільху та тирсу сосни.

Ключові слова: *гасіння пожеж, горіння рідин, торфу, високопористі носії, іммобілізація, адсорбція.*

Постановка проблеми. Одними з наймасштабніших і найважчих для гасіння є пожежі на торф'яниках і пожежі з горінням рідин на поверхні водоймища. І ті і інші часто продовжуються місяцями, супроводжуючись значними матеріальними збитками та помітним погіршенням екологічної ситуації.

Горіння вуглеводневих рідин неможливо припинити водою, так як ці рідини легші за питомою вагою. Створити на відкритому просторі потрібну для гасіння концентрацію інертного газу або хладону неможливо. Звичайні порошкові засоби мають насипну масу, більшу за 3 г/см^3, що вище питомої густини вуглеводнів і води. Тому, після нанесення, порошок протягом декількох секунд полишає зону горіння, занурюючись під поверхню і осідаючи на дно. На практиці для гасіння пожеж нафтопродуктів на поверхні водойми звичайно застосовують повітряно-механічні піни, що має масу недоліків з економічної точки зору і з точки зору нанесення екологічної шкоди водоймі та прибережжю [1, 2].

Для гасіння пожеж на торфовищах теж важко підібрати ефективний засіб. Ізолюючі засоби тут непридатні, так як торф у своїй структурі має під поверхнею кількість кисню, достатню для окислення сухих залишків рослин [3].

На сьогоднішній день найбільш ефективними та найбільш перспективними вважаються засоби гасіння пожеж, які базуються на фізико-хімічному механізмі інгібування - хладони і порошкові вогнегасні композиції. Більш прийнятними є порошкові композиції [4]. Хладони (галогеновмісні похідні нижчих вуглеводнів) на сьогоднішні день використовуються дедалі менше. Поводження з цими токсичними сполуками шкідливе і для персоналу, що з ними працює, і для довкілля. У 70–80-х роках минулого сторіччя науковці довели, що саме галогеновмісні похідні вуглеводнів є відповідальними за руйнування озонового шару атмосфери, який захищає Землю від згубного надмірного ультрафіолетового випромінювання Сонця [5 – 8]. Врешті-решт представниками більшості розвинених країн був підписаний Монреальській протокол з резолюцією, яка рекомендувала обмежити виробництво і застосування галогеновмісних похідних вуглеводнів [9]. Вогнегасні порошкові композиції складаються з компонентів, які в рослинництві використовуються як мінеральні добрива. Отже, ані ґрунти, ані водоймища вони не отруюють. Але в окремих випадках застосування таких композицій бажаного ефекту не дає. Зокрема, це стосується гасіння пожеж горючих рідин, розлитих на поверхні водоймищ, та запобігання поширенню пожеж на торфовищах [10].

Вогнегасний порошок можна нанести лише на поверхню торфовища, а горіння і тління, якщо вже почалися, то поширюються не тільки по поверхні, а і вглиб. Практично завжди тут застосовують воду, що дуже дорого і має низьку ефективність, оскільки вода погано розподіляється під поверхнею, стікаючи струмочками в окремі отвори глибоко під шар торфу. Тож потрібно води дуже багато, а розташовані торфовища в місцях, віддалених від джерел водопостачання. Так що доставка води являє собою дуже складну і дорогу задачу. Але є вихід. Звичайне положення про те, що пожежу дешевше попередити, ніж потім гасити, тут набуває особливого значення. Згідно останніх наукових положень, пожежі на торфовищах переважно виникають на поверхні, а вже потім поширюються вглиб. Отже, або треба весь час саме поверхню тримати вологою, або, щоб не дати вогню поширюватися, придушувати його в перші ж моменти саме на поверхні.

Постійно зволожувати, особливо в літній період, багатогектарні торфовища, розташовані далеко від джерел водопостачання, практично неможливо. Потрібен засіб, який, будучи нанесеним на поверхню, може захищати її протягом трьох-чотирьох років. Звичайні вогнегасні порошкові композиції тут не допоможуть, оскільки всі вони водорозчинні і змиються першим же дощем. В обох згаданих випадках мети можна досягнути, застосовуючи нерозчинні високопористі носії, з іммобілізованими всередині порожнин вогнегасними солями. Малі діаметри відкритих каналів таких носіїв заважатимуть проникненню всередину води і передчасному вимиванню вогнегасної компоненти. Під дією ж вогню, або навіть тління, підвищення температури викличе десорбцію інгібітору горіння і ліквідацію загорання. Тому питання модифікації і поліпшення характеристик вогнегасних порошків є актуальними і важливими.

Першою проблемою, яку треба було вирішити при створенні таких засобів, була проблема підбору високопористого носія з відкритими порами. Носій повинен забезпечувати можливість адсорбції достатньої кількості вогнегасної солі при збереженні низької насипної маси. Крім того, він повинен бути екологічним, доступним і достатньо дешевим. Для випадків гасіння пожеж горючих рідин, розлитих на поверхні водоймищ, та запобігання поширенню пожеж на торфовищах в Черкаському інституті пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля розроблені засоби, які являють собою високопористі носії з іммобілізованою на внутрішній поверхні порожнин вогнегасною сіллю [11–15].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Адсорбція широко застосовується в різних галузях і, відповідно, детально вивчається [16 – 18]. В даному випадку використовувалася фізична адсорбція. На відміну від хімічного зв’язування, в цьому процесі адсорбована речовина зберігає свою молекулярну структуру і в певних умовах може бути видаленою з поверхні адсорбенту (десорбованою) у незмінному вигляді. Пояснюється явище фізичної адсорбції нескомпенсованістю сил (вандерваальсові взаємодії, диполь-дипольні взаємодії та

ін.) на межі поділу поверхня твердої речовини – розчин або газова фаза. При адсорбції тепло, як правило, виділяється. Зворотній процес (десорбція) вимагає нагріву. Саме це потрібно для створення вогнегасних засобів на основі носіїв з іммобілізованими вогнегасними солями. Потрібно, щоб ці засоби при звичайних температурах зберігалися без втрати властивостей, а при пожежі, за рахунок підвищення температури, віддавали вогнегасні компоненти.

Мета роботи. На основі проведеного дослідження відібрати носії, придатні для подальшої іммобілізації в їх пори вогнегасних солей, і такі, що відповідають решті сформульованих вимог.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– оцінити фізико-механічні властивості відомих мінеральних і органічних пористих сорбентів і відбір найбільш придатних з них в якості потенційних носіїв іммобілізованих вогнегасних солей при сорбції останніх з водних розчинів;

– дослідити сорбційну здатність відібраних носіїв з різним розміром частинок;

– розробити технології іммобілізації вогнегасними солями мінеральних і органічних носіїв;

– провести фазовий аналіз і дослідити мікроструктури зразків вихідних сорбентів і зразків отриманих засобів гасіння пожежі.

Методи дослідження. В якості сорбентів – потенціальних носіїв досліджувалися: медичне активоване вугілля, активоване вугілля з коробок протигазів, макропористий кополімер стиролу з дивинілбензолом (марок 4/80 та 12/80), катіоніт КУ-23 (марок 10/60 та 12/80), перліт, вермікуліт (фракцій 1, 2, 3, 8) виробництва ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Укрвермікуліт», тирса вільхи і тирса сосни. В якості сорбатів використовувалися найбільш поширені вогнегасні солі – калію гідроген фосфат, калію дігідроген фосфат, амонію гідроген фосфат, амонію дігідроген фосфат та калію нітрат.

Дослідження проводилися шляхом просочення зважених зразків сорбенту розчинами вогнегасних солей з наступним висушуванням просочених зразків і зважуванням після висушування. Малий діаметр пор високопористих сорбентів і значний поверхневий натяг водних розчинів сорбатів заважали безпосередньому проникненню розчинів всередину сорбентів. Тому у випадку застосування активованого вугілля, макропористих кополімерів, перліту та вермікуліту, які мають жорсткі стінки капілярів, застосовувалася вакуумна техніка. Тирса вільхи і тирса сосни до деякої міри подібні губкам і дозволяють проводити просочування простим стискуванням і відпусканням їх у потрібному розчині.

Фазовий аналіз всіх зразків проводили із застосуванням порошкового рентгенівського дифрактометру ДРОН-4. Дослідження мікроструктури зразків виконувалися на скануючому електронному мікроскопі JEOL JSEM IT-300.

Виклад основного матеріалу досліджень. Розчини вогнегасних солей готувалися близькими до насичених (з концентрацією, на 5-10 відносних відсотків нижчою). Це дозволяло запобігти закупорці пор твердими частинками, які могли випасти з концентрованих розчинів при зниженні температури або при незначному випаровуванні води.

При дослідженні активованого вугілля, макропористих кополімерів, перліту та вермікуліту зразки сорбенту поміщалися у сітчасту тару (капроновий мішечок). Тара зі зразком зважувалася, занурювалася у розчин потрібної солі в хімічному стакані і накривалися перегорнутою воронкою Бюхнера. Це не дозволяло зразкам виплисти на поверхню і, в той же час, не заважало виходити з порожнин повітрю. Стакан з розчином, зразком і воронкою Бюхнера ставився у вакуумний ексикатор. Вмикався вакуумний насос і в ексикаторі створювалося розрідження із залишковим тиском у 5-10 мм рт. ст. Під дією розрідження з пор носія витягалося повітря, яке проходило крізь шар розчину і видалялося вакуумним насосом. Після 20-30 хвилин витримки вакуум відключався і ексикатор (обережно, щоб різкий потік повітря не розбризкав вміст стакану) з’єднувався із зовнішнім середовищем. Під дією атмосферного тиску розчин заповнював порожнини, звільнені від повітря. Тара із зразком виймалася, висушувалася і зважувалася. При проведенні робочих

досліджень операцію проводили 3-4 рази, кожного разу фіксуючи приріст маси і кожного разу досліджуючи, чи плавають зразки на поверхні при змішуванні їх з водою, чи тонуть.

Дослідження тирси вільхи та тирси сосни дозволяло обійтись спрощеною процедурою. Зважена тара із зразком поміщалася у ємність з розчином потрібної солі і руками в гумових рукавичках декілька разів стискувалася і відпускалася. Таким способом теж повітря в порожнинах заміщалося на розчин потрібної солі. Обробка просочених зразків далі проводилася як і в першому випадку.

Попередньо проведені дослідження за спрощеною методикою (без ретельної підготовки і зі зважуванням на технічних терезах) показали, що для практичних цілей придатний не кожний з обраних сорбентів. Частинки медичного активованого вугілля мають невисоку механічну міцність і при просоченні водними розчинами повністю розповзалися; маса проходила крізь тканину тари та утворювала в стакані дрібнодисперсну систему. Макропористий кополімер стиролу з дивинілбензолом солей з водних розчинів практично не адсорбував. Не набагато кращі результати фіксувалися і при застосуванні макропористого катіоніту КУ-23. Найбільшу адсорбційну здатність показали спучений вермікуліт виробництва ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Укрвермікуліт» та активоване вугілля з коробок протигазу. Але активоване вугілля при сорбції вже невеликої кількості солі ставало важким, його насипна маса перевищувала питому густину води і при змішуванні з нею зразки занурювалися під поверхню і опускалися на дно. Отже, детально доцільно було проводити дослідження, лише спрямовані на виготовлення засобів на основі вермікуліту та на основі тирси сосни і тирси вільхи.

Дослідження сорбційної здатності спученого вермікуліту. Вермикуліт – мінерал класу водних алюмосилікатів магнію і заліза, має шарувату будову і загальну формулу – $(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+})_3 [(Al,Si)_4O_{10}]\cdot(OH)_2\cdot 4H_2O$, хімічний склад може змінюватися, густина – 2,4-2,7 г/см^3. При температурах біля 1000 °С спучується, утворюючи частинки з відкритими порами. В дослідженнях використовувався спучений вермікуліт марок FINE UE та FINE ZU (виробник НВО «Укрвермікуліт», насипна маса 0,108 г/см^3 та 0,172 г/см^3 відповідно). В практиці основне призначення спученого вермікуліту – теплоізоляція, зокрема виготовлення теплоізоляційних плит.

Першим етапом цих досліджень був вибір оптимальної фракції спученого вермікуліту і здатність адсорбувати певні вогнегасні солі. Досліджені зразки фракцій промивалися дистильованою водою і висушувалися в сушильній шафі при температурі 90-100 °С. Зразок засипався у сітчасту тару, разом з якою зважувався. Після заповнення розчином солі порожнин, звільнених у вакуумі від повітря, зразки безпосередньо у тарі обмивалися з поверхні дистильованою водою і підсушувалися при температурі 45-50 °С. З огляду на можливість розкладу двозаміщених солей амонію та калію, вище температуру в сушильній шафі не піднімали. До постійної маси іммобілізовані зразки доводилися витримуванням протягом двох-трьох годин у вакуумному ексикаторі при залишкому тиску у 5-10 мм рт ст. Приріст маси дозволяв оцінити кількість вогнегасної солі, іммобілізованої в порах носія. Найкращі з отриманих результатів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Сорбційна здатність різних фракцій вермікуліту по окремих вогнегасних солях

№ з/п	Фракція вермикуліту	Вогнегасна сіль	Маса, г			Сорбція, %	
			До просочення	Після просочення	Приріст	Експ.	Середнє значення
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ф4 (3-4 мм)	K_2HPO_4	9,8494	17,9076	8,0582	44,99	45,5
2	Ф4 (3-4 мм)	K_2HPO_4	7,6690	14,2098	6,5408	46,03	
3	Ф1(0,5-1 мм)	K_2HPO_4	8,1537	12,0829	4,0292	33,1	31,0
4	Ф1(0,5-1 мм)	K_2HPO_4	12,2566	17,2354	4,9788	28,9	

5	Ф2(1-2 мм)	K_2HPO_4	5,0857	6,2353	1,1496	18,4	18,3
6	Ф2(1-2 мм)	K_2HPO_4	7,3790	9,0187	1,6397	18,2	
7	Ф4(3-4 мм)	K_2HPO_4	7,6738	11,8655	4,1917	42,2	41,6
8	Ф4(3-4 мм)	K_2HPO_4	7,0447	11,9230	4,8783	40,9	
9	Ф8(4-5 мм)	K_2HPO_4	6,2483	11,7499	5,5016	46,8	46,9
10	Ф8(4-5 мм)	K_2HPO_4	6,7470	12,7639	5,9939	47,0	
11	Ф4(3-4 мм)	KH_2PO_4	3,1292	10,5435	7,4143	70,3	68,5
12	Ф4(3-4 мм)	KH_2PO_4	3,4105	10,0695	6,6590	66,7	
13	Ф2(1-2 мм)	KH_2PO_4	3,1210	6,1078	2,9868	48,9	45,7
14	Ф2(1-2 мм)	KH_2PO_4	3,2718	5,6857	2,4139	42,4	
15	Ф4(3-4 мм)	$(NH_4)_2HPO_4$	5,9847	12,0833	6,0986	53,1	51,6
16	Ф4(3-4 мм)	$(NH_4)_2HPO_4$	4,9226	6,6497	4,7271	50,0	
17	Ф8(4-5 мм)	$(NH_4)_2HPO_4$	6,6835	13,9516	7,2681	50,1	47,7
18	Ф8(4-5 мм)	$(NH_4)_2HPO_4$	5,9663	10,6225	4,9262	45,2	

Як випливає з табл. 1, найкращі адсорбційні властивості і по калійних і по амонійних солях показали фракції 4 та 8 з розмірами частинок 4-5 та 3-4 мм. Що стосується вогнегасних солей, то для подальших досліджень було обрано найбільш поширені з них – фосфати амонію.

Проведені в подальшому паралельні випробування, з достатньою збіжністю результатів показують, що після першої іммобілізації внутрішні стінки капілярів здатні адсорбувати нові порції солей.

Таблиця 2 – Іммобілізація амонійфосфатом спученого вермикуліту FINE ZU (А)

№ з/п	Маса носія, г	Іммобілізація						
		перша		друга		третя		
		Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Середнє відношення
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	5,2918	2,8576	0,53	3,7960	0,71	4,0505	0,76	0,78
2	5,2573	2,5439	0,48	3,9328	0,74	4,1898	0,79	

Таблиця 3 – Іммобілізація амонійфосфатом спученого вермикуліту FINE UE (Б)

№ з/п	Маса носія, г	Іммобілізація						
		перша		друга		третя		
		Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Середнє відношення
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	9,8080	1,9940	0,20	3,3291	0,33	3,7891	0,38	0,38
2	10,3469	2,6994	0,26	3,3706	0,32	3,9868	0,38	

Таблиця 4 – Іммобілізація діамонійфосфатом спученого вермикуліту FINE ZU (А)

№ з/п	Маса носія, г	Іммобілізація						
		перша		друга		третя		
		Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Середнє відношення
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	6,6055	3,6003	0,54	4,5465	0,68	5,2535	0,79	0,78
2	5,3753	3,5501	0,66	3,8313	0,71	4,2088	0,78	

Таблиця 5 – Іммобілізація діамонійфосфатом спученого вермикуліту FINE UE (Б)

№ з/п	Маса носія, г	Іммобілізація						
		перша		друга		третя		
		Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Середнє відношення
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10,2567	3,3096	0,32	4,3128	0,42	5,2337	0,51	0,53
2	8,5328	3,3193	0,38	4,2058	0,49	4,8583	0,56	

Проведені дослідження доводять, що найкращою парою для створення вогнегасних засобів на основі високопористих мінеральних носіїв з іммобілізованими вогнегасними солями є пара зі спученого вермикуліту FINE ZU (А) та амоній- або діамонійфосфату. Для забезпечення потрібного вмісту вогнегасної компоненти достатньо трьох циклів іммобілізація – висушування. Подальше повторення таких циклів помітного збільшення вмісту вогнегасної компоненти не дає і недоцільне.

Дослідження сорбційної здатності тирси сосни та тирси вільхи. Альтернативою мінеральному носію можуть бути носії органічні, зокрема тирса найбільш легких порід деревини – сосни та вільхи. Використовуючи ці речовини можна виготовляти не лише засоби з носія, просоченого вогнегасними солями, а і засоби, які б діяли за принципом вогнегасного аерозолю, де вогнегасна компонента утворюється безпосередньо при застосуванні, за рахунок окисно-відновної реакції між окисником і відновником. Тирса тут може бути і носієм і відновником. В якості окисника в таких аерозолях здебільшого використовується калію нітрат. Тож досліджувалася сорбція тирсою не тільки амоній- та діамонійфосфатом, а і калію нітратом.

Методика дослідження мало відрізнялася від описаної вище. Спрощення полягало в тому, що іммобілізацію можна було проводити без застосування вакууму, просто стискуючи і відпускаючи тару зі зразком в розчині солі.

Отримані результати наведено в табл. 6 – 8.

Таблиця 6 – Іммобілізація тирси вільхи та сосни амонійфосфатом

№ з/п	Носій	Іммобілізація						
		перша		друга		третя		
		Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Середнє відношення
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Сосна	1,2190	0,31	1,4808	0,38	2,0231	0,51	0,53
2	Сосна	1,6266	0,35	2,0311	0,44	2,5764	0,56	
3	Вільха	1,0708	0,43	1,6501	0,67	1,9013	0,77	0,76
4	Вільха	2,1940	0,56	2,5837	0,65	2,9653	0,75	

Таблиця 7 – Іммобілізація тирси вільхи та сосни діамонійфосфатом

№ з/п	Носій	Іммобілізація						
		перша		друга		третя		
		Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Середнє відношення
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Сосна	1,6728	0,42	2,5164	0,63	2,8583	0,72	0,72
2	Сосна	1,6843	0,43	2,2431	0,58	2,7986	0,73	
3	Вільха	2,3874	0,63	2,8997	0,77	3,1247	0,83	0,86
4	Вільха	2,2371	0,61	3,0877	0,85	3,2175	0,89	

Таблиця 8 – Іммобілізація тирси сосни та вільхи калію нітратом

№ з/п	Носій	Іммобілізація						
		перша		друга		третя		
		Маса солі г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Маса солі, г	Відношення сіль/носій	Середнє відношення
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Сосна	3,2886	0,56	3,9641	0,82	5,2314	0,89	0,73
2	Сосна	3,0327	0,48	4,9610	0,65	4,8512	0,77	
3	Вільха	3,0919	0,64	4,4294	0,75	3,9641	0,82	0,70
4	Вільха	4,0109	0,52	4,1373	0,65	4,9601	0,65	

Фазовий аналіз та дослідження мікроструктури зразків. Проведені рентгенографічні дослідження показали, що у вихідному стані вермікуліт FINE ZU має кристалічну структуру. Після обробки на дифрактограмах з'являються піки, властиві чистому діамонійфосфату. І їх висота залежить від кількості проведених циклів іммобілізації. Із збільшенням вмісту діамонійфосфату збільшується і висота його піків рис. 1.

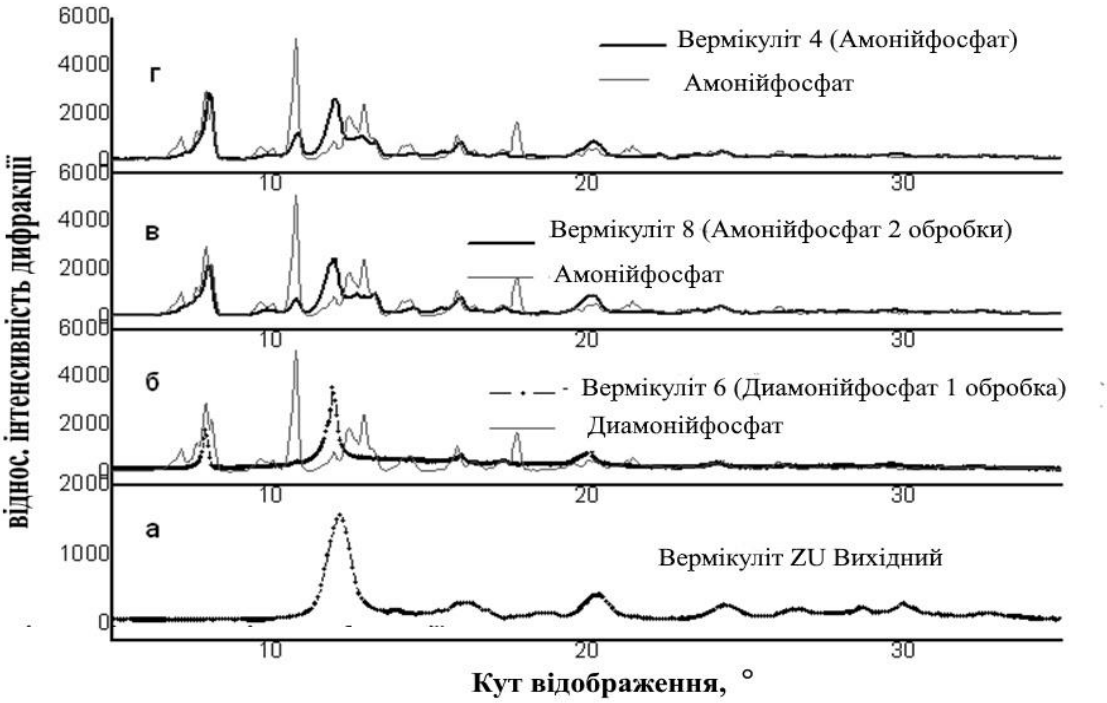
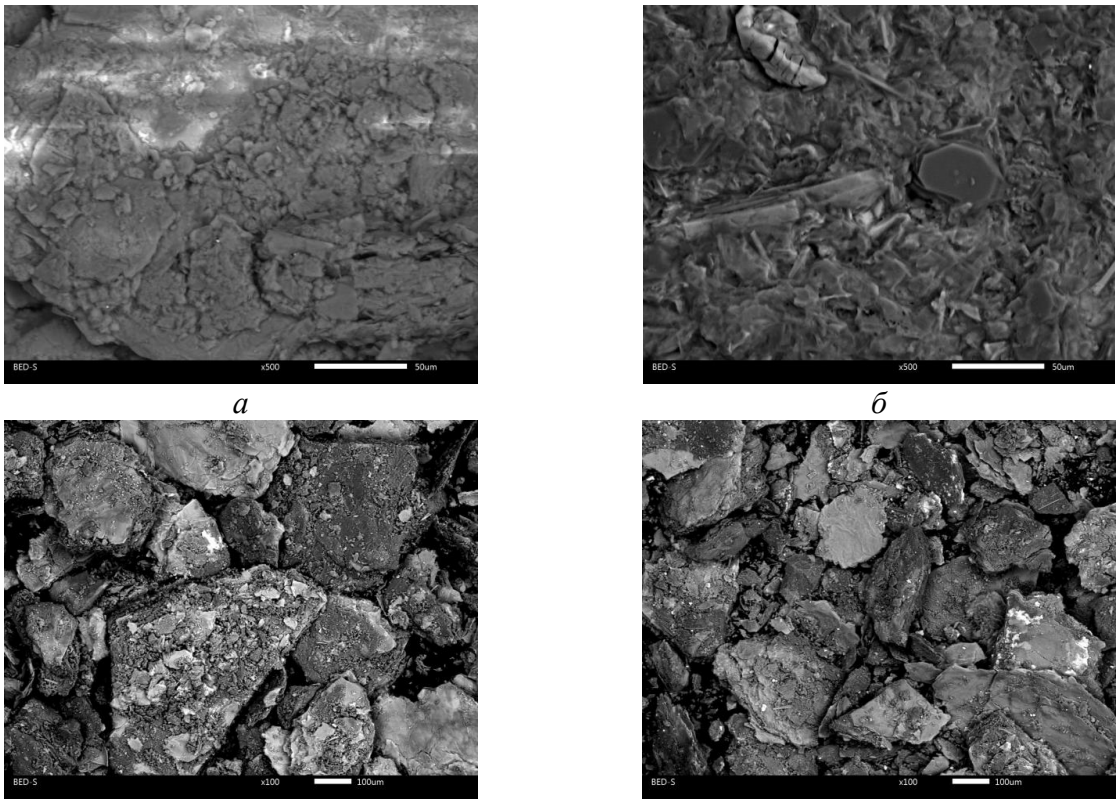


Рисунок 1 – Дифрактограми вермикуліту ZU (чорні крапки) у вихідному (*а*) і обробленому фосфатами амонію станах (*б* – адсорбованому диамонійфосфату; *в*, *г* – амонійфосфату) – наведені суцільними лініями

Дифрактограми деревини сосни (тирса) показують типово-виражену аморфну структуру, що доводиться присутністю широкого дифузного гало в 5-12 градусів. Дифракційні картини обробленої тирси є суперпозицією дифракції від відповідної хімічної речовини та деревини, що свідчить на користь гарної адсорбції.

Як свідчать електронно-мікроскопічні дослідження, проведені у режимі зворотно-розсіяних електронів на скануючому електронному мікроскопі рис. 2, у вихідному стані вермікуліт FINE ZU характеризується неоднорідною мікроструктурою, яка має вигляд окремих пластин із дисперсією від декількох мкм до 100 мкм та із схильністю до агломерації частинок порошку. Після обробки на поверхні пластинок вермікуліту з'являються дисперсні

частинки діамонійфосфату із розмірами 3-10 мкм, розподілені на поверхні пластинок вермікуліту досить однорідно.



а *б*

д *г*

Рисунок 2 – Електронно-мікроскопічні мікрофотографії вермикуліту ZU у вихідному (*а*) і обробленому амонійфосфатом станах (*б* – однократна обробка діамонійфосфатом; *в* - двократна обробка діамонійфосфатом; *г* – оброблений амонійфосфатом)

Дифрактограми та електронно-мікроскопічні мікрофотографії надані науковими співробітниками Інституту металофізики НАН України імені Г.В. Курдюмова.

Висновки. Проведено дослідження адсорбційної здатності потенційних носіїв для розробки вогнегасних засобів нового типу і структури отриманих систем. Показано, що такими носіями можуть бути високопористі сорбенти мінерального і органічного походження. Знайдено, з мінеральних найбільш придатним є спучений вермікуліт марки FINE ZU, з органічних – тирса сосни та тирса вільхи. З досліджених в якості іммобілізату вогнегасних солей найкращі результати демонструє діамонійфосфат. Для виготовлення генераторів вогнегасного аерозолю в якості окисника деревини найбільше підходить калій нітрат. Але в цьому випадку, щоб зберегти достатньо низку насипну масу (зберегти плавучість засобу на поверхні рідини), іммобілізацію треба обмежувати. Порівняльний фазовий аналіз та порівняльні дослідження мікроструктури показують, що після обробки іммобілізатами зразки і вермікуліту і деревини містять в собі агломеровані високодисперсні частинки вогнегасних солей, які в цілому рівномірно покривають внутрішню поверхню капілярів носія. Проведені дослідження є основою для розробки екологічного і недорогого засобу, придатного для гасіння пожеж рідин, розлитих на поверхні водойми, і для попередження поширення пожеж на торфовищах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Зниження кількості викидів шкідливих речовин та екологічних втрат внаслідок пожежі горючих рідин, розлитих на поверхні водойми, при гасінні пожежі повітряно-механічною піною / М. Куценко та ін. Збірник наукових праць Черкаського інституту

пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація». 2022. Т. 6, № 2. С. 46–50. URL: http://fire-journal.ck.ua/index.php/fire/article/view/133.

2. Звіт з НДР Обґрунтування настанов із застосування, зберігання, стилізування та випробовування піноутворювачів для гасіння пожеж, К.: ІДУ НД ЦЗ, 2022.- 330 с. URL: https://dsns.gov.ua/upload/1/8/5/4/8/2/6/zvit-pinoutvoriuvac-nastanovi.pdf

3. Ущапівський І., Грицай В.Б., Пехник С.З. Гасіння пожеж лісових та торф'яних пожеж у Львівській області. Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – Львів: ЛДУБЖД. 2005. № 6. С. 35–42.

4. Виникнення і розвиток горіння та вибуху. Припинення горіння: підручник / Г. Єлагін та ін. Черкаси: ЧІПБ, 2020. 444 с.

5. Nicolson P.C., Artman D.D., A technique for the evaluation of AFFF sealing characteristics. // Fire Technology, 1977, 13, № 1, 13-20.

6. Klunik C.H. Has. AFFT agent come of age // Hydrocarbon Process, 1977, V56, N 9, p. 293-300. 134/3-1.

7. Morgan J. Hurley, Daniel T. Gottuk, John R. Hall Jr., Kazunori Harada, Erica D. Fire protections halons and the environment: an update symposium Grant C.C. Fire Technol. Technical science, Switherland, 1988. Vol. 24. No 1. P. 63-64.

8. Smith W. Something in the air: Will concern for the ozone layer affect use of halons. Fire. Technical science. UK, 1988. Vol. 81. No 996. P. 17-18;

9. Резолюція Монреальського протоколу від 16.09.1987. Режим доступу: http://parusconsultant.com/doc=053O65D021.

10. Вогнегасні порошки та умови їх застосування: навч. посібн. / Жартовський С. та ін. Черкаси : видавець Третяков О.М., 2020. 250 с.

11. Вогнегасний засіб. Патент на корисну модель 136531 Україна. Опубл. 27.08.2019, Бюл. № 16/2019.

12. Техніко-економічне обґрунтування організації виготовлення засобів для гасіння пожеж горючих рідин на основі вогнегасних солей, іммобілізованих пористим носієм / Куценко М.А. та ін. «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація» Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України. Том 3, № 1 (2019), С. 42-50.

13. Вогнегасний засіб. Патент на корисну модель 141869 Україна. Опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8/2020.

14. Extinguishing media for spilled flammable liquids / G. Yelagin et al. The scientific heritage. 2022. Т. 1, № 84 (84). С. 15–25

15. Несен І.О. та ін. До проблеми попередження пожеж на торфовищах. // «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація» Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України. Том 6, № 1 (2022), С. 69-74.

16. S.J. Gregg, Kenneth S.W. Sing Adsorption, Surface Area, & Porosity, Second Edition, Academic Press, 1982. – 303 p.

17. Leon C.A. Interfacial chemistry and electrochemistry of carbon surfaces Chapter / C.A. Leon, L.R. Radovic // Chemistry and Physics of Carbon. – 1994. – № 1. – P. 213–310.

18. Richard I. Masel / Principles of Adsorption and Reaction on Solid Surfaces, Wiley-Interscience, 1996. – 824 p.

REFERENCES

1. Reduction of emissions of harmful substances and environmental losses due to fires of flammable liquids spilled on the surface of a reservoir when extinguishing a fire with air-mechanical foam / Kutsenko M.A. et al. Nadzvitcayni sytuatsii: poperedzennya ta likvidatsiya: Zbirnyk naukovykh prats. - Tcherkasy: TCIP named Heroes of Chornobyl's NUTCZ Ukrainy. 2022. V. 6, No 2. P. 46–50. URL: http://fire-journal.ck.ua/index.php/fire/article/view/133 [in Ukrainian].

2. Zvit pro NDR Obgruntuvannia nastanov iz zastosuvannia, zberihannia, stylizuvannia ta vyprobovuvannia pinoutvoriuvachiv dlia hasinnia pozhezh, K.: IDU ND TsZ, 2022.- 330 c. URL: https://dsns.gov.ua/upload/1/8/5/4/8/2/6/zvit-pinoutvoriuvac-nastanovi.pdf [in Ukrainian].

3. Ushchapivskyi I., Hrytsai V.B., Pekhnyk S.3. Firefighting of forest and peat fires in the Lviv region. Pozhezhna bezpeka: Zbirnyk naukovykh prats. – Lviv: LDUBZhD. 2005. No 6. P. 35–42 [in Ukrainian].

4. Vynyknennia i rozvytok horinnia ta vybukhu. Prypynennia horinnia: pidruchnyk // The origin and development of combustion and explosion. Cessation of combustion: a textbook / H. Yelahin et al. Cherkasy: TCIP named Heroes of Chornobyl's, 2020. 444 p. [in Ukrainian].

5. Nicolson P.C., Artman D.D., A technique for the evaluation of AFFF sealing characteristics. // Fire Technology, 1977, vol. 13, N 1, p. 13-20.

6. Klunik C.H. Has. AFFT agent come of age // Hydrocarbon Process, 1977, V 56, N 9, p. 293-300 134/3-1.

7. Morgan J. Hurley, Daniel T. Gottuk, John R. Hall Jr., Kazunori Harada, Erica D. Fire protections halons and the environment: an update symposium Grant C.C. Fire Technol. Technical science, Switherland, 1988. Vol. 24. No 1. P. 63-64.

8. Smith W. Something in the air: Will concern for the ozone layer affect use of halons. Fire. Technical science. UK, 1988. Vol. 81. No 996. P. 17-18.

9. Rezolyutsiya Monrealskogo protokolu vid 16.09.1987. URL: http://parusconsultant.com/doc=053O65D021.

10. Vohnehasni poroshky ta umovy yikh zastosuvannia // Fire-extinguishing powders and conditions of their application: teaching manual / Zhartovskyi S. et al. Cherkasy: publisher Tretyakov O.M., 2020. 250 p. [in Ukrainian].

11. Vognegasni zasib. Patent na korisnu model UA 136531. Publ. 27.08.2019, Bul. 16/2019.

12. Feasibility study of organization of making of facilities of extinguishing fires of combustible liquids on basis of fire extinguishing salts, immobilized by porous carrier. // Kutsenko M.A. et al. Nadzvitcayni sytuatsii: poperedzennya ta likvidatsiya: Zbirnyk naukovykh prats. - Tcherkasy: TCIP named Heroes of Chornobyl's NUTCZ Ukrainy. 2018. - No 3, p. 26 – 35 [in Ukrainian].

13. Vognegasni zasib. Patent na korisnu model UA 141869. Publ. 27.04.2020, Bul. 8/2020.

14. Extinguishing media for spilled flammable liquids // Yelagin G.I. et al. The scientific heritage. Vol. 1, No 84 (84) (2022), P. 15-25.

15. Do problemy poperedzennya pozhezh na torfovyschach. // Nesen I.O. et al. Nadzvitcayni sytuatsii: poperedzennya ta likvidatsiya: zbirniki naukovykh prats. - Tcherkasy: TCIPB named Heroes of Chornobyl's NUTCZ Ukrainy. V. 6, No 1 (2022), p. 69-74 [in Ukrainian].

16. Gregg S.J., Sing Kenneth S.W. Adsorption, Surface Area, & Porosity, Second Edition, Academic Press, 1982. - 303 p.

17. Leon C.A. Interfacial chemistry and electrochemistry of carbon surfaces Chapter / C.A. Leon, L.R. Radovic // Chemistry and Physics of Carbon. – 1994. – N 1. – P. 213–310.

18. Richard I. Masel / Principles of Adsorption and Reaction on Solid Surfaces, Wiley-Interscience, 1996. - 824 p.

***Maria KUTSENKO*[1]**, *Candidate of ecomomical science, docent*
***Ihor ROMANIUK*[2]**, *Candidate of Technical Sciences*
***Oleh MYROSHNYK*[1]**, *Doctor of Technical Sciences, Professor*
Yurii KUTSENKO
[1]*National University of Civil Protection of Ukraine*
[2]*State Emergency Service of Ukraine in Poltava region*
[3]*National Security and Defense Council of Ukraine*

RESEARCH OF ADSORPTION FOR FIREEXTINGUISHER SALTS BY HIGH-POROUS TRANSMITTERS

Today, the most effective and promising fire extinguishing agents are those based on a physicochemical inhibition mechanism. These include fire extinguishing powder compositions consisting of components used as mineral fertilizers in crop production. Therefore, they do not poison either soils or water bodies. However, in some cases, the use of such compositions does not have the desired effect. In particular, this applies to extinguishing fires of flammable liquids spilled on the surface of water bodies and preventing the spread of fires in peatlands. For such cases, agents have been developed that are porous carriers with fire-extinguishing salt immobilized on the inner surface of the cavities. Translated with DeepL.com (free version). When developing such agents, first of all, it is necessary to select a carrier with the required adsorption capacity in relation to the selected extinguishing salt. The agents intended to extinguish fires of flammable liquids spilled on the surface of water bodies should be constantly in the liquid burning zone, if not above the liquid surface, then on its surface. Accordingly, the carrier should have a low bulk density. To prevent premature leaching of the fire extinguishing agent from the cavities, the pores must be narrow enough so that the surface tension of the water prevents its penetration into the cavities. In addition, the requirements for the carrier include sufficient mechanical strength, availability, and low cost. Based on these requirements, the following were studied: medical activated carbon, macroporous styrene copolymer, cationite KU-23, perlite, manufactured vermiculite, alder sawdust and pine sawdust.

Keywords: *Extinguishing of fires, burning of liquids, burning of peat, high-porous transmitters, immobilization, adsorption.*