

УДК 502/504

¹Лучко Й. Й., *д-р техн. наук, професор*, <https://orcid.org/0000-0002-3675-0503>²Фордзюн Ю. І., *канд. техн. наук*, <https://orcid.org/0000-0001-6709-9525>¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна²Мукачівський державний університет, м. Мукачеве, Україна

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СКЛАД НА ОСНОВІ ПРИРОДНОГО МІНЕРАЛУ ДЛЯ ПРОФІЛАКТИКИ ОЖЕЛЕДИЦІ

Анотація

Вступ. У вступі охарактеризовано стан автомобільних доріг в Україні та її вигідне географічне розташування на шляху до євроінтеграції. Обґрунтовано доцільність заходів щодо профілактики ожеледиці на автомобільних дорогах, що покращить якість автомобільних перевезень особливо в зимовий період та загалом сприятиме зниженню витрат на утримання в належному стані всієї транспортної інфраструктури.

Проблематика. Проведено аналіз останніх досліджень і публікацій за тематикою дослідження, проаналізовано основні способи боротьби з ожеледицею: механічний, фрикційний, хімічний і комбінований. Систематизовано переваги і недоліки відомих способів та рецептур, що використовуються для профілактики ожеледі на автомобільних дорогах.

Мета. У формулюванні цілей статті наведено мету даної роботи – це заміна традиційних піщано-гравійних сумішей (відсівів) твердих монолітних порід, що використовуються для профілактики ожеледиці, на пористі в комбінації з хімічними добавками. Об'єкт дослідження – природний, мікропористий мінерал-цеоліт. Мікропориста природа цеоліту забезпечує його високі сорбційні властивості, відповідно, розширює можливості використання інгредієнту в поєднанні з традиційними хімічними реагентами (солями) для профілактики ожеледиці. Така рецептура (склад) є більш технологічною, зменшить використання хімічними реагентів і, відповідно, забезпечуватиме менше екологічне навантаження на транспортні шляхи та прилеглу територію, завдяки високим сорбційним властивостям тощо.

Матеріали і методи. За допомогою системного підходу досліджено механізм взаємодії солі з льодом та снігом, розраховано криоскопічну сталу для води. Проаналізовано механізм розчинення, який є фізико-хімічним, адже сольватація іонів солі (хімічного компоненту) супроводжується тепловими явищами. Показано також, що для сильно розведених розчинів молярна концентрація збігається з мольною концентрацією.

Результати. Наведено повну характеристику мінералу цеоліт, встановлено його основні фізичні властивості, які демонструють очевидні переваги цеоліту в порівнянні з традиційними піщано-гравійними сумішами. Представлено термодинамічні характеристики, концентраційні фактори (довідникові дані для різних солей), які дозволять добрати більш оптимальний хімічний реагент (сіль чи їхню суміш), з врахуванням робочих температур, екологічності, доступності тощо.

Висновки. Дослідження середовищ на основі природного мінералу цеоліт з добавкою традиційних компонентів солей, в якості суміші для профілактики ожеледиці автомобільних доріг, у тому числі мостів, шляхопроводів, тротуарів, показало перспективність використання протиожеледних матеріалів запропонованого складу та визначило необхідність подальших їх досліджень.

Ключові слова: автомобільні дороги, ожеледиця, сніг, цеоліт, сіль.

Вступ

Індекс якості автомобільних доріг в Україні один з найгірших, не дивлячись на вигідне географічне розташування держави на шляху основних транзитних потоків між Європою і Азією та наявність розгалуженої мережі автомобільних доріг і відповідної транспортної інфраструктури. Ці обставини стримують розвиток галузі, зменшуються обсяги транзиту вантажів через територію України. В Законі України «Про автомобільні дороги» анонсовано будівництво, функціонування, реконструкцію, ремонт та утримання автомобільних доріг в інтересах держави і користувачів автомобільних доріг [1].

На шляху до євроінтеграції України транспортна галузь держави є одною з проблемних, якість дорожніх сполучень як і якість автомобільних перевезень не відповідають вимогам часу, актуальним залишається питання як фінансування, так і ефективного використання коштів. Однак, в цих умовах альтернативними заходами для розвитку транспортної галузі є поступова модернізація галузі, комплексний підхід до вирішення нагальних потреб та цільове фінансування, наприклад, на сезонну профілактику ожеледиці автомобільних доріг (транспортних шляхів). Ожеледь на автомобільних дорогах України погіршує пропускну здатність автомобільних доріг, різко збільшує кількість дорожньо-транспортних пригод тощо.

Ожеледь – шар льоду, що може виникнути на твердій поверхні дороги (суходолу) в зимовий період при похолоданні (мінусових температурах чи температурах близьких до 0°C). Ожеледь суттєво погіршує зчеплення коліс транспортного засобу з покриттям дороги, носить сезонний характер, є наслідком фізичних процесів при охолодженні: конденсація водяної пари, намерзання крапель переохолодженого дощу чи мряки, а також характеризується циклічністю, обумовленою добовим коливанням температури вдень та вночі. Ожеледь, зазвичай, з'являється при підвищеній вологості повітря (понад 90 %) на ділянках, що межують з річкою, каналами, озерами або іншими водоймами.

Проблема ожеледиці транспортних магістралей найбільш відчутна в зимовий період, який, не дивлячись на помірний клімат України, є досить тривалим. Значними є також наслідки зимового періоду, пов'язані з суттєвим збільшенням дорожньо-транспортних пригод, так і з необхідністю проведення профілактичних заходів, наступним ремонтом доріг, і особливо це стосується ремонту мостів, які найбільше серед дорожніх об'єктів потерпають в процесі експлуатації.

Доречно зауважити, що інтенсивність обледеніння поверхні суходолу мостів значно більша за однакових погодних умов в порівнянні з автомобільною дорогою, що пояснюється швидким промерзанням дорожнього покриття мосту при загальному похолоданні.

Дану проблему потрібно розглядати значно ширше, адже в зимовий період необхідно забезпечити рух транспорту та безпеку на дорогах для власників транспортних засобів і для пішоходів на тротуарах. Проблематика ожеледиці охоплює не тільки автомобільну дорогу загального користування у межах смуги відведення (земляне полотно; проїзна частина; дорожнє покриття; смуга руху; споруди дорожнього водовідводу та водоочисні споруди; інші інженерні облаштування: снігозахисні споруди, протилавинні і протиселеві споруди; уловлювальні з'їзди; нагірні канали; випарні басейни; відкриті та закриті дренажні системи...), а також пішохідні проходи, тротуари та інші відповідні елементи дорожньої інфраструктури.

Тому проблема ожеледиці, очищення снігу є відчутною для великих міст, що обумовлено великою концентрацією транспорту, наявністю комунікацій будинків, пішоходів, тощо, що загалом ускладнює проведення профілактичних заходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показує аналіз інформації за тематикою досліджень [2, 3] найбільш поширеними способами боротьби з ожеледицею є механічний,

посипання доріг піском, пісчано-гравійною сумішшю (гранітною крихтою) та солевими складами на основі пісчано-гравійних сумішей (далі – ПГС). За іншою класифікацією [4, 5] розрізняють механічний, фрикційний, хімічний способи і їх комбінації. Доцільно розмежувати способи проведення профілактичних засобів та складів (суміш компонентів) для виконання поставлених завдань.

Кожен з цих способів, як і рецептури компонентів, мають свої сфери застосування, характеризуються техніко-економічними показниками щодо доцільності їх використання, мають свої переваги та недоліки, а тому питання розробки нових рецептур є актуальним завданням та матиме перспективи щодо практичного використання [6].

Механічний спосіб є давнім надійним, однак, є самим витратним, тривалим і неефективним, якщо виконується нерегулярно. Навіть часткова механізація даного способу може призводити до пошкодження дорожнього покриття, бордюрів, тротуарної плитки, бруківки, що може знижувати їх термін служби в 2 і більше разів [4, 5].

Фрикційний спосіб передбачає використання піску, відсіву, гранітної крихти, сприяє збільшенню сили тертя. Спосіб використання сипких матеріалів, не дивлячись на значну економію коштів від використання доступних та дешевих сипких матеріалів, носить виключно миттєву вигоду. Абразивний матеріал різної природи та походження дисперсністю до 5 мм, посипаний на проїзній частині дороги, здатний підвищити коефіцієнт зчеплення до 0,3. Тривалість такої профілактики умовно складає не більше 0,5 години, матеріал не затримується на проїзній частині, розсіюється до обочини дороги. Цей спосіб найбільш ефективний при відсутності атмосферних опадів на підйомах, спусках автомобільних шляхів, де швидкість транспортних засобів обмежено. Недоліком методу в умовах значної урбанізації міст є додаткові витрати на прибирання відповідних територій, утилізацію отриманих продуктів, брудної каші особливо в період відлиги, зумовленої сезонним весняним потеплінням. Використання абразивних матеріалів типу гранітного відсіву призводить до засмічення систем водостоку [3, 5,6].

Хімічний спосіб більш ефективний завдяки використанню добавок солей, які зумовлюють танення снігу, льоду. Він дозволяє знизити норму витрат сипких матеріалів відповідно від 700 г/м² до (200-300) г/м². Технічна сіль відноситься до найбільш доступних засобів боротьби з ожеледицею. На безпечних ділянках доріг норми витрати пісчано-сольових сумішей становлять від 100 г/м² до 400 г/м², або 0,1-0,2 м³ на 1000 м² покриття, а на небезпечних 0,3-0,4 м³. Але ропа, що утворюється в результаті танення снігу та льоду, є одним з найбільш агресивних розчинів і завдає істотної шкоди. Це – активна корозія металів і контактувальних поверхонь мостів, комунікацій та відповідна інфраструктура, не менший за обсягами є руйнівний вплив солей на взуття, кузов автомобіля, тощо; виділення хлору в атмосферу, в тому числі при утилізації негативно впливає на людину, природу та довкілля. Ці фактори в деяких країнах та великих мегаполісах призвели до заборони використання хлориду натрію [3, 6].

Комбінований спосіб є найбільш оптимальним і інноваційним для профілактики ожеледиці завдяки використанню більш ефективних в порівнянні з хлоридом натрію противоожеледних матеріалів ПОМ на основі хлориду кальцію і хлориду магнію, в тому числі у вигляді розчинів, що забезпечує більш низькі норми витрат в середньому 70 г/м², тоді як ПСС 300 г/м². Як показує аналіз літературних джерел, патентів, та нормативних регламентів, використання ПОМ на основі хлоридів калію, кальцію, магнію, а також їхніх сумішей зумовлює дещо менші проблеми в порівнянні з традиційною сіллю - хлоридом натрію [3-6].

Напрацьований досвід [8] дозволяє обґрунтувати рекомендації щодо вибору оптимальних засобів боротьби з ожеледицею на основі техніко-економічних номенклатурних показників якості, з врахуванням показників безпеки та екологічності для навколишнього середовища [9-11], а саме:

- хімічні компоненти засобів повинні гарантувати мінімальний вплив на корозію мостів, дорожньої інфраструктури та транспортних засобів;
- шкідливі компоненти складу повинні гарантувати мінімальний вплив на забруднення ґрунтів прилеглих до автомобільних доріг, територій і ґрунтових вод хлоридами, що спостерігається в період інтенсивного танення снігу;
- кількість внесених реагентів для профілактичних робіт повинна бути мінімальною, адже вона прямо пропорційна загальній витраті противоожеледних матеріалів;
- хлориди частково накопичуються в ґрунті, а частково по геохімічним ланцюгах вимиваються в ґрунтові води (ґрунтів, поверхневих і підземних вод).

По цій причині доцільним є розробка та впровадження граничних норм витрат противоожеледних матеріалів з екологічної точки зору, що дозволить удосконалити діючі нормативні документи в Україні до вищого рівня європейських стандартів, які будуть повністю відповідати вимогам безпеки дорожнього руху та забезпечать баланс в системі «Дорога - навколишнє середовище» [9].

Формулювання цілей статті. Державним комітетом України по житлово-комунальному господарству затверджено «Технічні правила по ремонту міських вулиць і доріг» (№ 010-94 від 27.12.1994 р. Зокрема, п. 3.9. зазначених Правил передбачає виконання робіт сезонного характеру, що забезпечують належну чистоту доріг і нормальні умови експлуатації. П. 4.5 обумовлює необхідність регулярного очищення дорожнього покриття від забруднення, ліквідацію зимової ожеледі, своєчасне збирання сніжних валів, тощо. Правила регламентують два процеси – профілактичну обробку і безпосередньо чищення дорожнього покриття. Відповідно до п. 7.27 профілактику потрібно проводити за 1-2 години до виникнення ожеледиці, прогнозованої метеоспостереженнями. Чищення відбувається в два етапи: спочатку лід обробляють сіллю, а через 3-5 годин сколюють спеціальним устаткуванням.

У відповідності до стандарту ДСТУ 3587 «Технічне обслуговування доріг, ремонт доріг, сезонне утримання доріг» профілактика ожеледиці відноситься до виду робіт під загальною назвою «утримання доріг» – комплекс робіт, в результаті яких підтримується транспортно-експлуатаційний стан дороги, дорожніх споруд, смуги відведення, елементів облаштування дороги, організації та безпеки руху [4, 9].

По цій причині розробка нового складу для профілактики ожеледиці повинна базуватись на використанні наявних нормативів, існуючих засобів та техніки для проведення вказаних робіт. Аналіз літератури за тематикою дослідження [4, 6, 11] показав, що детально досліджені хімічні добавки до піщано-гравійних сумішей (ПГС) для профілактики ожеледиці, їхній асортимент є широким, доступним, і представлений вагомим спектром реагентів, також детально вивчений механізм їхньої фізико-хімічної дії.

Тому більший науковий та практичний інтерес представляє дослідження інших «нових» матеріалів в якості базового матеріалу взамін традиційного – відсіву мінералів, що мають пористу кристалічну будову та структуру. Таким мінералом є цеоліт (рис. 1, *a*, *b*), мінерал доступний, промислово видобувається та має широкий спектр використання, в тому числі в будівництві. Доцільність використання природнього мінералу цеоліту Хустського цеолітового заводу, з добавкою кам'яної солі для профілактики ожеледиці вже визначена [8]. Беззаперечно, використання хлориду натрію повинно бути поступово обмежене та замінене на реагенти більш екологічно безпечні та менш агресивні щодо конструктивних матеріалів.

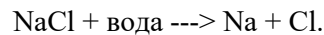
Мета даної роботи – є дослідження середовищ на основі природнього мінералу цеоліту з добавкою традиційних компонентів солей в якості суміші для профілактики ожеледиці транспортних шляхів, шляхопроводів, тротуарів. В результаті очікується: зменшення кількості реагентів хлоридів натрію, кальцію, магнію; забезпечення більшої тривалості використання середовищ; зменшення екологічного навантаження на довкілля в зонах прилеглих до мостів і шляхопроводів.

Мета роботи досягається дослідженням технологічних властивостей запропонованих складів протижеледних матеріалів, що дасть змогу розробити їх відповідні рецептури з врахуванням відповідності основним експлуатаційним показникам та знизити вплив на довкілля. Наступним кроком є визначення техніко-експлуатаційної ефективності.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для визначення основних експлуатаційних, технологічних показників реагентів для профілактики ожеледиці необхідно вивчити механізм взаємодії хімічного реагенту (солі) з льодом та снігом (твердим агрегатним станом води). Це наглядно можна розглянути на прикладі технічної кам'яної солі – традиційного компонента для профілактики ожеледиці [8]. Експериментально було встановлено, що кристали сухого хлориду натрію, поміщені на тверду поверхню льоду (снігу), розчиняються дуже повільно і з поглинанням теплоти, з утворенням на поверхні кристалу водяної плівки. Початковий розчин активізує подальше розчинення залишків солі. Під дією власної вологи і при відносно малій швидкості розчинення окремі частинки хлористого натрію проникають через шар льоду на поверхню дорожнього покриття, що в результаті послаблює зв'язок між дорожнім полотном і шаром льоду. Після того, як кристал розчиниться, він продовжує накопичувати теплову енергію. Швидкість танення залежить від швидкості розчинення солей і евтектичної температури розчинів (температури початку кристалізації).

Даний механізм розчинення є фізико-хімічний, так як супроводжується електролітичною дисоціацією солей за рівнянням



Сольватація іонів супроводжується тепловими явищами і протікає до настання динамічної рівноваги при даній температурі. Тобто сам процес профілактики ожеледиці базується на явищі кріоскопії – зниження температури замерзання розчину пропорційно числу часток розчиненої речовини, що описується законом Рауля. Роль хімічного реагенту очевидна – сіль плавить лід, а піщано-гравійна суміш зменшує ковзкість. Одночасно має місце механічне «розбивання» ожеледі колесами транспортних засобів. При потраплянні реагента на поверхню льоду його частки спочатку повинні розчинитися з утворенням розчину, який має температуру замерзання нижче температури замерзання води. Безперечно, що при понижених температурах в реальних зимових умовах кількість реагента необхідно збільшувати пропорційно градієнту температури навколишнього середовища. Саме розчин солі, поки його концентрація така, що температура замерзання нижче температури плавлення льоду, розтоплює лід. Тому швидкість танення льоду і снігу залежить від швидкості розчинення солей і евтектичної температури розчинів.

Зниження температури замерзання розчину тим значніше, чим вище концентрація розчиненої речовини m :

$$t_{\text{зам}} = Km,$$

де K – коефіцієнт пропорційності, названий кріоскопічною сталою;

m – моляльна концентрацією, що дорівнює числу молів розчиненої речовини в 1000 м³ розчинника.

При плавленні льоду розчини хлоридів розбавляються, їх концентрація падає. Розбавлені розчини мають температуру замерзання вище, ніж концентровані і можуть замерзнути, викликаючи додаткову слизькість, що особливо характерно при застосуванні хлористого натрію і піщано-солевих сумішей на його основі [6].

Для сильно розведених розчинів молярна концентрація збігається з мольною концентрацією, і обидві вони пропорційні мольній частці розчиненої речовини. Пораховано кріоскопічну сталу, для води:

$$K = t_{\text{зам}}/m = (0 - (-0,186))/0,1 = 1,86.$$

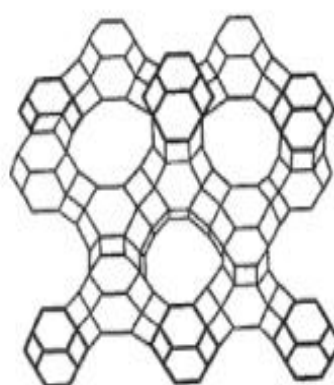
У розчині хлориду натрію концентрація часток дорівнює не 1 моль/л, а 2 моль/л, тобто хлорид натрію у водному розчині знаходиться в дисоційованому стані:



і містить в два рази більше часток іонів - кріоскопічна стала дорівнює – 3,72.



a



b

Рисунок 1 – Цеоліт: *a* – відсів, фракція 6 мм; *b* – проекція фрагменту пористої кристалічної структури цеоліту

Розбавлені розчини мають температуру замерзання вище, ніж концентровані, і можуть замерзнути при понижених температурах, тобто бути неефективними. На практиці використовують показник робочої температури. Встановлено основні експлуатаційні – термодинамічні характеристики хімічних реагентів для профілактики ожеледеці (таблиця 1).

Таблиця 1

Термодинамічні характеристики реагентів для профілактики ожеледеці

Реагент	Температура, °С		Теплота розчинення, ккал/моль,	
	евтектична	робоча	екзотермічна	ендотермічна
Хлорид кальцію	-51,0	-34,0	-51,40	
Хлорид натрію	-21,2	-9,0...-12,0	-	1,18
Хлорид калію	-10,0	-4,0	-	4,28

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Основними з них є плавляча здатність – здатність ефективно плавити лід, тобто кількість льоду в грамах, яку здатний розплавити один грам реагенту. Враховуючи, що молекулярна маса NaCl 58,5, молекулярна маса CaCl₂ 111, простий розрахунок показує, що дві молекули NaCl рівнозначні по витраті реагенту одній молекулі CaCl₂, тому хлористий кальцій при низьких температурах більш ніж в два рази ефективніше хлористого натрію.

При виборі реагенту потрібно враховувати його екологічні характеристики (таблиця 2).

Таблиця 2

Гранично допустимі концентрації, орієнтовні безпечні рівні діяння забруднювальних речовин в атмосферному повітрі населених місць

Речовина	Клас шкідливості	ОБРД мг/м ³	ГДК Середньодобова мг/дм ³	Примітка
Натрію хлорид	3	0,15	0,15	[4]
Кальцію хлорид	3	0,10	0,05	[4, 11]

Згідно даних довідкової літератури хлорид кальцію, його розчини є більш безпечними в порівнянні з традиційною кам'яною сіллю (3 клас шкідливості).

Проведено роботи з вивчення середовищ на основі природнього мінералу цеоліту Хустського цеолітового заводу, з добавкою кам'яної солі, хлориду натрію Солотвинських солекопалень, (інших солей) на криоскопію та навколишнє середовище.

Цеоліт в вигляді порошку або гранул різного дисперсного складу отримують шляхом подрібнення природнього мінералу-цеоліту на заводі в м. Хуст. Основні характеристики Сокирницького клиноптилоліту, який використовували у дослідженнях, відповідали ТУ У 14.5-00292540.001-2001. У експериментах використовували гранульовану фракцію з діаметром частинок 0,25...6 мм. Основні характеристики цеолітів див. таблицю 3. Висока пористість 34 %, мікропористість в широкому діапазоні 2-50 Å, іонообмінна ємність 1,5 mg.eq/g демонструють очевидні переваги цеоліту в порівнянні з традиційними монолітними піщано-гравієвими сумішами.

Таблиця 3

Фізичні властивості цеолітів

Адсорбційна ємність по воді	34 – 38 %
Ефективний діаметр пор	2 – 50 Å
Пористість	34 %
Густина	1900 – 2800 кг/м ³
Площа поверхні	413 м ² /g
Іонообмінна ємність	1,5 mg.eq/g
Вологість	6 – 8 %
Термічна стійкість	700 °C
Межа міцності при стисканні	8 – 15 МПа;
Питома теплоємність	0,83 – 1,00 кДж/(кг·К),
Теплопровідність — 0,14 Вт/(м·ч·К).	0,14 Вт/(м·ч·К)
Твердість (мінералогічна шкала)	5,0 – 5,5

Цеоліти – це пористі кристали, мінерал вулканічно-осадового походження, має каркасну структуру, що складається з алюмосилікатів лужних та лужноземельних металів. Для алюмосилікатних цеолітів важливою характеристикою є відносний вміст Si та Al у каркасах. Зі зростанням частки алюмінію в цеолітному каркасі збільшується об'ємна ємність. Катіони і молекули води слабо пов'язані з каркасом і можуть бути частково або повністю заміщені (видалені) шляхом іонного обміну і дегідратації, причому можна зупинити, без руйнування каркаса цеоліту.

Експериментально було встановлено, що цеоліт здатен швидко капілярно поглинати 20-30 % (мас.) води, та соленої води (пересичений розчин) в такій же кількості. Чим дрібніша фракція цеоліту тим більшу кількість водяної фази він здатний поглинати – до 40 %. Рисунок 2.

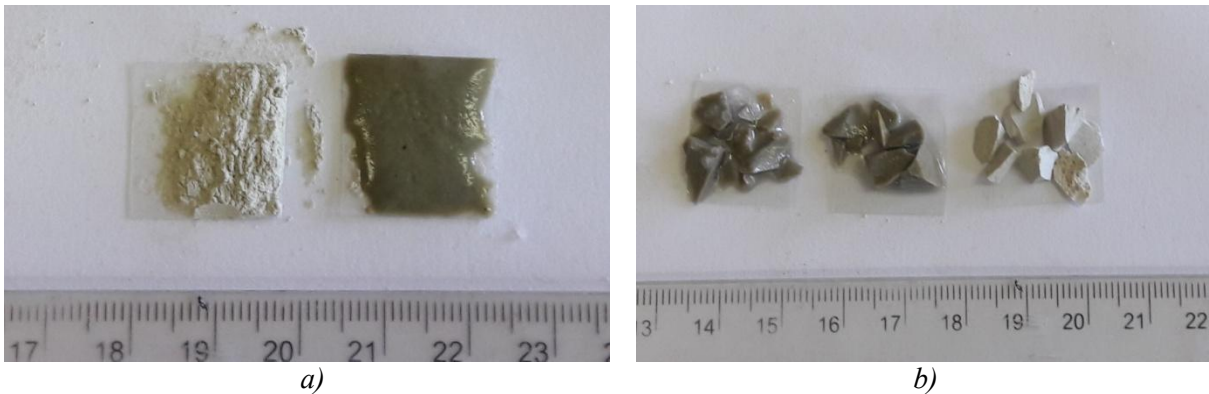


Рисунок 2 – Технологічні властивості цеоліту: *a)* – дрібна фракція цеоліту 0,025 мм. (суха та з водою); *b)* – груба фракція цеоліту 6 мм. (з перенасиченим водяним розчином NaCl, насиченим водяним розчином NaCl, вихідний матеріал)

Позбавлений води цеоліт являє собою мікропористу кристалічну «губку», обсяг пор в якій становить до 50% обсягу каркасу цеоліту. Така «губка», що має діаметр вхідних отворів від 0,3 до 1 мм (в залежності від виду цеоліту) є високоактивним сорбентом. Саме завдяки цій властивості цеоліт використовується як сорбент. Явищем адсорбції – поглинання, концентрування речовини з газової фази на поверхні твердого тіла (адсорбенту) або в внутрішній структурі пор утворених системою порожнин і каналів, в яких розташовані лужні, лужноземельні катіони та молекули води. Ми прогнозуємо подальшу локалізувальну здатність цеолітів щодо всіх гетерогенних викидів органічної та неорганічної природи в зонах, прилеглих до автомобільної дороги, в тому числі і шкідливих солей, що зменшує їх викиди в ґрунтові води.

Цеоліт володіє адсорбційними, іонообмінними, каталітичними, детоксикаційними, бактерицидними та іншими цінними властивостями. Кожна частинка цеолітової порошоків має безліч наскрізних отворів діаметром 2-10 ангстрем. Хімічна природа поверхні цеоліту здатна адсорбувати як молекули води, так і CO₂, H₂S, NH₃, NaCl інших неорганічних речовин; органічних речовин нафтопродукти, масла, жири. Він є хорошим сорбентом як з рідкої, так газоподібної фази. Особливістю цеоліту є те, що він здатен утримувати в своїх порах речовини, які туди потрапили, розміри молекул яких не перевищують розміри пор, тому цеоліти називають молекулярними ситами, прості речовини він пропускає, а більші утримує в тому числі і солі як криоскопічні добавки, що благотворно впливає на екологічну ситуацію прилеглих до автошляхів ділянок Таблиця 4.

Критичні діаметри деяких молекул [7]

Молекула	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂ O	NH ₃	CH ₄	C ₂ H ₄
d _{кр.}	2,4	3,4	3,7	2,7	3,6	3,8	4,07

Цеоліт є відносно нетвердим матеріалом, не комкується, тому може бути застосований для посипання доріг, має відносно невисоку вартість, ринкова ціна знаходиться в межах 50 євро за тону.

Висновки

Дослідження середовищ на основі природного мінералу цеоліту з добавкою традиційних компонентів солей в якості суміші для профілактики ожеледиці транспортних шляхів, шляхопроводів, тротуарів показало перспективність використання таких протиожеледних матеріалів та визначило необхідність подальших їх досліджень.

Вигоди від застосування протиожеледних реагентів очевидні:

- простота в експлуатації;
- простота в приготуванні;
- висока ефективність дії;
- швидка швидкість впливу. Ефект від застосування помітний вже протягом 10 хвилин;
- мінімальні витрати на зберігання та логістику;
- екологічність.

Запропонований склад є багато функціональний. Не містить солей. Не надає корозійного впливу на сталь, пластмасу, гуму. При потраплянні на ґрунт виступає сорбентом для шкідливих реагентів.

Очікується зменшення кількості реагентів хлоридів натрію, кальцію, магнію, забезпечується більша тривалість використання середовищ, зменшується екологічне навантаження на довкілля в зонах прилеглих до шляхопроводів. Регламентоване використання більш прогресивного з екологічної точки зору складу для профілактики ожеледиці сприятиме зниженню витрат на утримання в належному стані всієї транспортної інфраструктури та покращить якість автомобільних перевезень, особливо в зимовий період.

Список літератури

1. Закон України Про дорожній рух (зі змінами до 2004) м. Київ, 30 червня 1993 року, N 3353-ХІІ. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12> (дата звернення: 07.11.2018).
2. Бородіна Н. А., Вирожемський В. К. Оцінка впливу хлористих протиожеледних матеріалів на навколишнє середовище при зимовому утриманні автомобільних доріг. *Дороги і мости*. Київ, 2004. N 2. С. 14-17.
3. Вирожемський В., Бородіна Н. А., Трух М. Екологічні наслідки зимового утримання автомобільних доріг. *Автошляховик України*. Київ, 2006. N 2 (190). С. 35-38.
4. Лефельд К. Г. Зимнее содержание дорог (перевод с немецкого). Москва, 1977. 173 с.
5. Корецкий В. Е. Зарубежный опыт зимнего содержания дорожных покрытий. *Проекты развития инфраструктуры города*. Москва, 2002. Вып. 2. С. 108-116.

6. Корецкий В., Павлов Н. Зимняя уборка магистралей города. Москва, 2002. С. 86-97.
7. Неймарк Н. Е. Адсорбенты и катализаторы. Киев, 1978. 145 с.
8. Лучко Й. Й., Фордзюн Ю. І. Використання природного мінералу цеоліту в якості добавки для профілактики ожеледиці транспортних шляхів доріг та тротуарів. *Дороги і мости*. Київ, 2006. Вип. 6. С. 313-321. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2006_6_31
9. ДСТУ 3587-97 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. Київ, 1997. 23 с. (Інформація та документація).
10. Корецкий В. Е. Геоэкологические основы теории и практики инженерной защиты водной системы северного мегаполиса в зимний период: автореферат дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2007. 36 с.
11. Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г., Корпач А. О. Екологія автомобільного транспорту: навч. посіб. Київ, 2002. 312 с.

REFERENCES

1. Law of Ukraine on Road Traffic (with amendments to 2004) Kyiv, June 30, 1993, N 3353-XII. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12> (Last accessed: 07.11.2018) [in Ukrainian].
2. Borodina N. A., Vyrozhemskiy V. K. Otsinka vplyvu khlorystyx protyozhelednykh materialiv na navkolyshnie seredovyshe pry zymovomu utrymanni avtomobilnykh dorih. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv, 2014. 2. P. 14-17 [in Ukrainian].
3. Vyrozhemskiy V., Borodina N. A., Trukh M. Ekolohichni naslidky zymovoho utrymannia avtomobilnykh dorih. *Avtošlahovik Ukraïni*. Kyiv, 2006. N 2. P. 35-38 [in Ukrainian].
4. Lefeld K. G. Zimnee sodержanie dorog (translated from German). Moscow, 1977. 173 p. [in Russian].
5. Koretskiy V. Ye. Zarubezhnyy opyt zimnego sodержaniya dorozhnykh pokrytiy. *Proekty razvitiya infrastruktury goroda*. Moscow (2002). Vol. 2. P. 108-116 [in Russian].
6. Koretskiy V., Pavlov N. Zimnyaya uborka magistralei goroda. Moscow, 2002. P. 86-97 [in Russian].
7. Neymark N. Ye. Adsorbenty i katalizatory. Kyiv, 1978. 145 p. [in Russian].
8. Luchko Y. Y., Fordzyun Yu. I. Vykorystannya pryrodn'oho mineralu tseolitu v yakosti dobavky dlya profilaktyky ozheledytsi transportnykh shlyakhiv dorikh ta trotuariv. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv, 2006. 6. P. 313-321. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2006_6_31 [in Ukrainian].
9. State Standard of Ukraine (DSTU 3587-97). Bezpeka dorozhnjogho rukhu. Avtomobiljni doroghy, vulyci ta zaliznychni perejizdy. Vymoghy do ekspluatacijnogho stanu. Kyiv, 1997. 23 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
10. Koretskiy V. Ye. Geoekologicheskie osnovy teorii i praktiki inzhenernoy zashchity vodnoy sistemy severnogo megapolisa v zimniy period. (Doctoral dissertation). Moscow, 2007. State University of Civil Engineering [in Russian].
11. Ghutarevych, Ju. F., Zerkalov, D. V., Ghovorun, A. Gh., Korpach, A. O. Ekologhija avtomobiljnogho transport: Tutorial. Kyiv, 2002. 312 p. [in Ukrainian].

¹Josef Luchko, D.Sc, Professor, <https://orcid.org/0000-0002-3675-0503>

²Yurii Forziun, Ph.D, <https://orcid.org/0000-0001-6709-9525>

¹Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

²Mukachevo State University, Mukachevo, Ukraine

MULTI-FUNCTIONAL COMPOSITION BASED ON THE NATURAL MINERAL FOR ICING PREVENTION

Abstract

Introduction. The introduction briefly describes the state of roads in Ukraine and its favorable geographical location on the way to European integration. The expediency of measures for prevention of icing on roads which will improve the quality of road transportations especially during the winter period and, in general, will contribute to the reduction of the cost of maintenance in the proper condition the whole transport infrastructure was justified.

Problem Statement. The analysis of recent researches and publications was carried out; the main methods of icing combat were analyzed: mechanical, frictional, chemical and combined. The advantages and disadvantages of known methods and compounding used for prevention of icing on highways are systematized.

Purpose. The purpose of this article is the replacement of traditional sand-gravel mixtures (siftings) of solid rocks used for icing prevention on porous materials in combination with chemical additives. The object of research is natural, microporous mineral - zeolite. Microporous nature of zeolite provides its high sorption properties, respectively, expands the possibilities of using the ingredient in combination with traditional chemical reagents (salts) for icing prevention. Such compounding (composition) is more technological, reducing the use of chemical reagents and, accordingly, providing less environmental impact on the transport routes and roadside territory due to high sorption properties, etc.

Materials and methods. By systematic approach the mechanism of interaction of salt with ice and snow was studied, cryoscopic constant value for water was determined. It was analyzed that mechanism of dissolution which is physico-chemical because salt ions solvation (chemical component) is accompanied by thermal phenomena. It is also shown that for high diluted solutions, the molar concentration is corresponded the mole concentration.

Results. The full characteristic of the mineral zeolite is given, its basic physical properties are established which are shown the obvious advantages of zeolite in comparison with traditional sand-gravel mixtures. The thermodynamic characteristics, concentration factors (reference data for various salts) which will allow choosing more optimal chemical reagent (salt or their mixture) taking into account working temperatures, environment, availability, etc. are presented.

Conclusion. Research of environments based on natural mineral zeolite with adding the traditional salt components as a mixture for icing prevention of highways, including bridges, overpasses, sidewalks, is shown the prospect of the use of de-icing materials of the proposed composition and determined the need for their further research.

Key words: highways, icing, snow, zeolite, salt.