

ЕКОЛОГІЯ

УДК 57.042

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2024-1.01>

Наталія ВОЛОШИНА

доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології, Український державний університет імені Михайла Драгоманова

VoloshynaNatali@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9135-8539

Антон МАРТЮХІН

аспірант кафедри екології, Український державний університет імені Михайла Драгоманова

a.v.martiukhin@npu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-5372-3905

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗИМОВОГО УТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. Обслуговування та утримування дорожнього полотна із настанням зимового періоду завжди утворює певні складнощі пов'язані з питанням боротьби з ожеледицею або товстим сніговим покривом, що утворився внаслідок заметілі. Просте розчищення дороги за допомогою спеціальної снігоприбиральної техніки із встановленим на них плугами забезпечує ефективність лише за умови відсутності повторних снігових опадів та зовсім неефективно при, так званій «плаваючій погоді», що означає різку зміну температури із плюсової в мінусову та супроводжується утворенням сильної ожеледиці. Крім того, при настанні зимового періоду збільшується частка дорожньо-транспортних пригод, зокрема й через ожеледицю на дорогах. Все це веде до необхідності очищення дорожнього покриття від снігу та льодового покриву за допомогою спеціальних сумішей. **Метою статті** є аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду щодо екологічних підходів, спрямованих на зимове утримання автомобільних доріг з урахуванням наслідків для придорожніх екосистем. **Методологія дослідження базується** на результатах досліджень, які мають на меті проаналізувати доступні способи утримання автомобільних доріг під час настання зимового періоду, а також сформулювати необхідні умови для пом'якшення екологічних наслідків для прилеглих екосистем від застосування спеціалізованих протиожеледних сумішей, та розглянути можливість впровадження перспективних напрямів в зазначеній сфері. Даний матеріал має поєднати міжпредметні зв'язки екологічного, хімічного та економічного спрямування. **Наукова новизна роботи** полягає в тому, що було аналізовано вплив на навколишнє середовище тих чи інших сольових сумішей, разом із оглядом перспективних методів зимового утримання автомобільних доріг, та їх моделювання в умовах України. **Висновки.** Досліджено різноманітні види посипальних антиожеледних матеріалів, в тому числі, в зарубіжних країнах. Проведена оцінка їх ступеню ефективності, екологічності та технологічності; визначено перспективні дослідження в заданій сфері, їх можливе впровадження та використання в сучасних умовах на території України.

Ключові слова: автомобільна дорога, зимове утримання, сольова суміш, реагенти.

Nataliia VOLOSHYNA

Doctor of Biology Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology, Ukrainian State Dragomanov University

VoloshynaNatali@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9135-8539

Anton MARTIUKHIN

Postgraduate Student at Department of Ecology, Ukrainian State Dragomanov University

a.v.martiukhin@npu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-5372-3905

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF WINTER MAINTENANCE OF AUTOMOBILE ROADS

Abstract. Maintenance and maintenance of the road surface with the onset of the winter period always creates certain difficulties related to the issue of dealing with ice or a thick snow cover formed as a result of a blizzard. Simple clearing of the road with the help of special snow removal equipment with plows installed on them ensures efficiency only if there is no repeated snowfall and is completely ineffective in the so-called «floating weather», which means a sharp change in temperature from plus to minus and is accompanied by the formation of strong ice. In addition, with the onset of the winter period, the share of traffic accidents increases, in particular due to ice on the road. All this leads to the need to clean the road surface from snow and ice cover with the help of special mixtures. **The purpose of the article** is to analyze the international and domestic experience regarding ecological approaches aimed at the winter maintenance of highways, taking into account the consequences for roadside ecosystems. **The research methodology** is based on the results of studies aimed at analyzing the available ways of maintaining highways during the winter period, as well as creating the necessary conditions for mitigating the environmental consequences for the adjacent ecosystem from the use of specialized anti-icing mixtures, and considering the possibility of introducing promising directions in the specified field. This material should combine interdisciplinary links of ecological, chemical and economic direction. **The scientific novelty of the work** lies in the fact that the environmental impact of certain salt mixtures was analyzed, together with an overview of promising methods of winter road maintenance and their modeling in Ukrainian conditions. **Conclusions.** Various types of aggregate materials were studied, including in foreign countries. An assessment of their degree of efficiency and manufacturability was carried out; promising research in the given field is determined, and their possible implementation and use in Ukrainian conditions.

Key words: road, winter storage, salt mixture, reagents.

Постановка проблеми. Посипання доріг спеціальними сумішами та реагентами залишається основним та беззмінним засобом для боротьби із сніговим покривом та ожеледицею на автомобільних дорогах. Лише в США кожен рік на дорогах використовують приблизно 20 млн т. спеціальних сольових сумішей [5]. Проте, сольова суміш, не може повноцінно запобігти утворенню льодового покриву, її головна функція полягає в зниженні температури замерзання поверхні дорожнього покриття. Крім того, сольова суміш є ефективною при певних умовах, а головне – при певних температурах. Доцільність її використання обґрунтовується відсутністю будь-яких альтернативних та ефективних домішок чи реагентів, проте екологічний вплив сольових сумішей на довкілля майже не досліджувався.

Іншим негативним чинником використання протижелезних засобів є неконтрольований чи аварійний витік стічних вод із вмістом сольового розчину у прилеглі екосистеми, едафічне чи водне середовище. При цьому найбільшого негативного впливу зазнають рослини та дерева, коренева система яких пригнічується збільшенням частки солі в ґрунтовому середовищі. Головні проблеми, які спричиняють сольові стоки є відмирання гілок та листя (листя придорожніх рослин особливо пошкоджується через розпилення автомобільними шинами реагентів), а при критичному накопиченні солі, можуть реєструватися випадки некрозу і відмирання рослин [4].

Не менший вплив існує й на представників тваринного світу. Наприклад, при неконтрольованому сольовому стоку у водне середовище, існує ризик загибелі гідробіонтів, або видів, середовище життя яких пов'язано із поверхневими водами (амфібій, рептилій) [4]. Іншим прикладом може слугувати погіршення безпекового стану на дорогах через вихід на них великих ссавців (лосів, козулі, олені, кабани). Як відомо, для лосів характерно реагувати на сіль, а сольові домішки на поверхні дороги приваблюють тварину, вони виходять на дорогу, створюючи аварійні ситуації. Не поодинокі випадки виникнення ДТП через перебування великих ссавців на дорогах, в тому числі з летальними випадками [4].

Дані негативні фактори, в основному, однакові в будь-якому регіоні чи країні, оскільки наразі немає ефективного рішення щодо застосування заміників сольових реагентів, що потребує детальнішого вивчення проблеми та пошуку шляхів вирішення.

Аналіз джерел та останніх досліджень. Питання альтернативних та екологічно-безпечних дорожніх реагентів в Україні вивчена недостатньо та представлена в оглядових матеріалах інтернет-видань чи наукових публікаціях. Водночас, іноземні дослідники практикують теоретичне обґрунтування та практичну реалізацію заміни шкідливих сольових сумішей і реагентів.

Аналіз наукової літератури підтвердив майже повну відсутність в Україні наукового

доробку чи публікацій, в котрих висвічувалася би дана проблематика. Крім того, у зв'язку із військовими діями на території України, дане питання зникло із публічного обговорення.

Головним негативним екологічним чинником від використання сольової суміші є забруднення стічних вод через потрапляння даних реагентів в каналізаційну систему після їх танення. Такі дослідження було проведено у 2008 році Інститутом економічних досліджень (США), де визначали вміст у колодязній воді сольових домішок, що утворюються після їх використання у зимовий період. Аналітичне дослідження проб води із каналізаційних систем округу Датчесс, штату Нью-Йорк показало, що при нормі солоності у 30–60 мг/л, деякі проби мали показники у 347 мг/л, що перевищує рекомендовану верхню граничну норму майже в шість разів [5].

Дане питання досліджувалося й іншими дослідниками (Patricia G. (2021), Matthew S. (2017), Victoria K (2010)), проте ефективних заходів щодо зменшення негативного ефекту, окрім зміни хімічного складу реагентів, не було впроваджено.

Метою статті є аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду та систематизація інформації щодо основних заходів зимового утримання автомобільних доріг з урахуванням екологічних аспектів, в тому числі спрямованих на збереження видів флори і фауни придорожніх екосистем.

Методи дослідження. Застосовували системний підхід, традиційні методи аналізу і синтезу, було проведено бібліографічний огляд сучасних міжнародних і вітчизняних джерел інформації, нормативно-правової бази щодо заходів з утримання автомобільних доріг під час настання зимового періоду з урахуванням екологічних наслідків для компонентів придорожніх екосистем від застосування протижелезних реагентів. Визначення, терміни та концепції використано відповідно до міжнародної практики.

Науково-практичні дослідження виконувалися відповідно до ініціативної теми кафедри екології природничого факультету Українського державного університету імені Михайла Драгоманова: «Екологічне обґрунтування збереження біологічного різноманіття при плановій діяльності» (zareestrovano в УкрІНТЕІ 0122U001574 від 14.02.2022)».

Проведені дослідження дозволяють здійснити моделювання можливості використання антижелезних реагентів з вмістом сольових сумішей або нових методів зимового утримання автошляхів для підвищення екологічної безпеки навколишнього середовища під час зимового технічного та технологічного утримання автомобільних доріг.

Виклад основного матеріалу. Сьогодні ринок протижелезних реагентів пропонує широкий спектр торгових марок та продуктів, які представлені декількома видами реагентів для обробки автомобільних доріг. Найбільш поширеним способом обробки дорожнього покриття, та водночас, найпростішим, є посищення звичайною пікосольовою сумішшю або гранітною крихтою. Водночас, даний метод має низький економічний ефект, оскільки посищення доріг сумішами такого типу має застосовуватися двічі на день, а для автомагістралей чи доріг державного значення – частіше. Це призводить до підвищення економічного навантаження та додаткового зношення технічного устаткування і спеціального автотранспорту. Інший варіант передбачає використання спеціальних хімічних реагентів, які змішують із звичайною пікосольовою сумішшю (так звана «технічна сіль»). Даний метод боротьби із ожеледицею потребує значно меншого проведення повторних циклів посищення через свої активні хімічні реакції із дорожнім покриттям, однак економічні витрати зростають у порівнянні із звичайними сумішами.

Проте, кожна із цих сумішей має екологічний ефект для навколишнього середовища, а також збільшує антропогене навантаження від повного комплексу «Автомобільна дорога». Зокрема, при використанні пікосольової суміші утворюється значний негативний вплив на придорожню рослинність через винесення частинок вказаної суміші на узбіччя від автомобільного транспорту або при згортанні снігового покриву спеціалізованою технікою. Негативні наслідки від цього будуть полягати в сповільненні зросту рослини, пришвидшенні опадання листя чи гілок, а при значному засоленні ґрунту, може призвести й до передчасної загибелі рослин. Процес засолення ґрунтів має накопичувальний ефект, та врешті-решт, призведе до повної деградації придорожньої екосистеми.

Друга проблематика постає у забрудненні водного середовища. Було підраховано, що близько 45 % усіх сольових домішок, що потрапляють у ґрунт, із часом просочуються до ґрунтових підземних вод, тим самим, призводячи до їх накопичення та формулювання кумулятивного ефекту забруднення [4]. Особливої актуальності набуває використання і накопичення хімічних сольових реагентів, що можуть проникати у шари підземних вод та забруднювати поверхневі водойми, звідки здійснюється забір питної води, оскільки дані реагенти через дорожні зливосточні системи потрапляють в басейн річки Дніпро або ж у водойми Каховського чи Кременчуцького водосховища [1]. При потрапленні до таких великих водойм вплив може оцінюватися як мінімальний, але при екстраполяції даних до водного середовища малого об'єму як ставок чи озеро, можна спостерігати хімічну стратифікацію та навіть порушення водного балансу водойми. Окрім цього, дані хімічні реагенти з часом спричиняють корозію металів, пошкодження мостів, руйнування асфальтобетонного покриття, осідання на кузові та бампері автомобільного транспорту тощо [4].

Оскільки сольові компоненти протижеледних сумішей в сумі спричиняють негативний ефект на навколишнє середовище, необхідно знайти такі рішення, які би допомогли знизити ступінь шкодочинності чи навіть запобігти їй. Базовим рішенням може бути відмова від використання вищезгаданих сумішей на користь природних матеріалів. Наприклад, використання простої щебеневі суміші, яка може допомогти в безпечному проїзді дорожнім полотном, що скуте ожеледицею, завдяки збільшенню зчеплення із дорожнім покриттям. Проте, дане рішення має свій негативний фактор, а саме сприяє засміченню придорожніх дощових мереж. Звичайні дощові мережі не можуть пропускати частинки з великою фракцією, а тому вони накопичуються в дощових жолобах та камерах і, поступово, застрягають та засмічують дощову каналізацію, що в свою чергу спричиняє застій талої води на дорозі та може призвести навіть до ДТП [3].

Інший спосіб полягає в зниженні концентрації солі в розчині шляхом додавання різних домішок. Варто зазначити, що вибір домішок є доволі різноманітний, проте їх справжню

ефективну користь експериментально ще не визначено. Наприклад, існують сольові суміші із додаванням бурякового соку, а в штаті Теннесі, США, через значну виробничу потужність горілчаної промисловості, додають до суміші картопляний сік [3]. Натомість в штаті Вісконсін подекуди застосовують сольові розчини на основі сирного розсолу [4]. Водночас, якщо останні методи потребують додаткових методологічних та технологічних доробок, наукове доведення ефективності бурякового соку показує, що утворювана суміш має більшу ступінь «прилипання» до льодового покриву і забезпечує більш швидке його танення. Друга властивість даної суміші полягає у значній морозостійкості. Якщо основні сольові суміші підвищують свою морозостійкість хімічними шляхами, що в кінці відображається на їх загальній вартості, то сольово-бурякова суміш сполучає хімічні та природні властивості, а тому економічний ефект цього реагенту також виступає з позитивної точки зору [3].

Перспективною домішкою в суміші антиожеледного реагенту виступає цеоліт (пористий мінерал вулканічного чи осадового походження). Його основні характеристики як пористість, термічна стійкість, питома теплоємність та іонообмінна ємність свідчать про більшу ефективність порівняно із традиційними піщаними сумішами. Дослідження, які були проведені, показали, що цеоліт має високу здатність до адсорбції як із водою, так і з аміаком, вуглекислим газом чи сірководнем. Крім того, його властивістю є здатність затримувати речовини в своїх порах, при цьому розміри молекул даних речовин не перевищує розміри пор. В сфері дорожньої екології, використання цеоліту із сольовими сумішами буде сприяти покращенню екологічної ситуації на придорожніх ділянках, оскільки молекули цеоліту будуть затримувати в собі солі та різні криоскопічні добавки. Економічний показник ще варто буде розрахувати, але ціна цеоліту наразі становить близько 30 гривень за 1 кілограм [2].

Перспективним можна назвати дослідження китайських вчених, котрі синтезували нову домішку, але її концепція полягає у поєднанні із асфальтобетонною сумішшю при укладці дорожнього покриття. Для цього було використано поєднання ацетату натрію із поверхнево-активних речовин (далі – ПАР), діоксиду

кремнію, бікарбонатом натрію та доменними або сталевими шлаками. На початку, пористий матеріал необхідно було замочувати в розчині органічної солі, далі – процес сушіння та подрібнення, і вже після цього можна було виготовляти основний реагент. В подальшому вказану суміш покривають гідрофільним полімером та антиожедедним агентом типу мікрокапсул з ефектом стійкого вивільнення. Через вміст гідрофільно-карбоксильної групи, даний полімер може утворювати водний канал для контролю швидкості вивільнення суміші, через що підвищується термін його експлуатації. Сам реагент для танення снігу виготовлений з ацетату натрію, що був отриманий з відпрацьованої рідини піролізу біомаси. Дані добавки досягають покращення екологічного ефекту (тобто відбувається захист навколишнього природного середовища), а з економічної точки зору його виробництво у порівнянні із терміном експлуатації буде дешевшим за вироблення інших хімічних реагентів [6].

В результаті змішування вищезазначеного полімеру із протиожедедним реагентом утворюються полімерні мікрокапсули, які потім додаються в якості домішок в асфальтобетонне покриття. В результаті осмотичного тиску, а також пружності асфальтобетонного покриття від проїзду автомобільного транспорту, дані мікрокапсули будуть поступово розчинятись в дорожньому полотні, що в свою чергу забезпечує хімічну реакцію швидкого танення снігу та льодового покриву на ньому. Температурні характеристики свідчать, що процес зледеніння дорожнього покриття настає від -21°C , а найбільшим позитивним моментом є довговічність даної суміші (повний цикл випаровування буде завершений через 7–8 років). Однак, необхідно точно роз-

раховувати кількість даної суміші, оскільки її надлишок призводить до пришвидження руйнування дорожнього полотна, а хімічні властивості будуть погіршені [6].

Висновки. Проблема зимового обслуговування дорожнього покриття із урахуванням екологічних аспектів залишається перспективним і актуальним напрямом в дорожній екології, а тому дослідження будуть продовжуватися. Однак, економічний фактор також відіграє важливу роль в кінцевому використанні тієї чи іншої домішки, а тому віднайти баланс «екологія-економіка» потребує більшого методологічного значення. Наразі вже налагоджений виробничий процес створення посипальних сумішей із заміною соляної основи на більш екологічні реагенти. Однак, їх використання обмежується лише локальним застосуванням, тоді як основним матеріалом для посипання доріг та тротуарів все ще залишається піскосолева суміш, через її економічну доступність. Проте, вже є певні спроби віднайти реагенти, котрі будуть мають довготривалий ефект і триває пошук нових хімічних сполук, що дозволять із часом повністю замінити шкідливі соляні реагенти.

На сьогоднішній день, зимове утримання дорожнього покриття керується правилами, що затверджені у ДСТУ 9185:2022 «Настанова щодо зимового утримання автомобільних доріг», в якому затверджені лише посипкові суміші із додавання хлориду натрію із його різними варіаціями. Відповідно, відсутня можливість використання альтернативних реагентів чи сумішей в якості ПОМ (поверхнево-оброблювальних матеріалів). Тому, в разі поширення чи розроблення нового методу зимового утримання на автомобільних дорогах, необхідно буде враховувати й юридичний фактор в разі його схвалення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Екологи б'ють на сполох: посипання доріг сіллю – прямий шлях до засолювання ґрунтів та водою. URL: <https://www.seeds.org.ua/ekologi-byut-na-spolox-posipannya-dorig-sillyu-pryamij-shlyax-do-zasolyuvannya-gruntiv-ta-vodojm/> (дата звернення 24.10.2023).
2. Лучко Й.Й., Фордзюн Ю.І. Багатофункціональний склад на основі природного мінералу для профілактики ожеледиці. *Науково-технічний збірник Національного транспортного університету. Дороги і мости*. Київ, 2019. № 19-20. С. 16–26.
3. Чому сіль шкідлива для доріг, і як у Європі борються з ожеледицею? URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2831554-comu-sil-skidliwa-dla-dorig-i-ak-u-evropi-borutsa-z-ozelediceu.html> (дата звернення 25.10.2023).
4. Minnesota Stormwater Manual (2017). Minnesota Pollution Control Agency Website. Environmental impacts of road salt and other de-icing chemicals. Version.22.,November.2022.URL: [https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Environmental impacts of road salt and other deicing chemicals](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Environmental%20impacts%20of%20road%20salt%20and%20other%20deicing%20chemicals) (дата звернення 24.10.2023).

5. Road Salt 101: How it Works and Its Alternatives. October 29, 2022. URL: <https://dozr.com/blog/road-salt-alternatives> (дата звернення 24.10.2023).
6. Zhao Y., Peng Y., Zhao Q., Chen Y., Chu X. Preparation of a green sustained-release microcapsule-type anti-icing agent for asphalt pavement and its application.demonstration.project.URL.:<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsomega.2c07212> (дата звернення 27.10.2023).

REFERENCES:

1. Ekolohy biut na spolokh: posypannia dorih silliu – priamyi shliakh do zasolliuvannia gruntiv ta vodoim [Environmentalists sound the alarm: sprinkling roads with salt is a direct way to salinization of soils and water bodies]. Retrieved from: <https://www.seeds.org.ua/ekologi-byut-na-spolox-posipannya-dorig-sillyu-pryamij-shlyax-dozasolyuvannya-gruntiv-ta-vodojm/> (accessed 24.10.2023) [in Ukrainian].
2. Luchko, Y.Y., & Fordziun, Yu.I. (2019). Bahatofunktsionalnyi sklad na osnovi pryrodnoho mineralu dlia profilartyky ozheledytsi [A multifunctional composition based on a natural mineral for the prevention of frostbite]. *Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Dorohy i mosty – Scientific and technical collection of the National Transport University. Roads and bridges*. № 19–20. p. 16–26 [in Ukrainian].
3. Chomu shkidlyva sil dlia dorih, i yak u Yevropi boriutsia z ozheledytseiu? [Why is salt harmful to roads, and how do they fight with frostbite in Europe?]. Retrieved from: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2831554-comu-sil-skidlyva-dla-dorig-i-ak-u-evropi-borutsia-z-ozelediceu.html> (accessed 25.10.2023) [in Ukrainian].
4. Minnesota Stormwater Manual (2017). Minnesota Pollution Control Agency Website. Environmental impacts of road salt and other de-icing chemicals. Version.22,.November.2022. Retrieved from: [https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Environmental impacts of road salt and other deicing chemicals](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Environmental%20impacts%20of%20road%20salt%20and%20other%20deicing%20chemicals) (accessed 24.10.2023).
5. Road Salt 101: How it Works and Its Alternatives. October 29, 2022. Retrieved from: <https://dozr.com/blog/road-salt-alternatives>.(accessed 23.10.2023).
6. Zhao, Y., Peng, Y., Zhao, Q., Chen, Y., & Chu, X. Preparation of a green sustained-release microcapsule-type anti-icing agent for asphalt pavement and its application.demonstration.project. Retrieved from: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsomega.2c07212> (accessed 27.10.2023).