



1. Abdullah, M. M., Assi, A. T., Abdullah, M. T., & Feagin, R. A. (2020). Arid ecosystem resilience to total petroleum hydrocarbons disturbance: A case-study from the State of Kuwait associated with the Second Gulf War. *Land Degradation & Development*, 31(2), 155-167.
2. Daskin, J. H., Stalmans, M., & Pringle, R. M. (2016). Ecological legacies of civil war: 35-year increase in savanna tree cover following wholesale large-mammal declines. *Journal of Ecology*, 104(1), 79-89.
3. Hupy, J. P. (2006). The long-term effects of explosive munitions on the WWI battlefield surface of Verdun, France. *Scottish Geographical Journal*, 122(3), 167-184.
4. Lookingbill, Todd R., Emily S. Minor, and Lisa A. Wainger. "The ecosystem service impacts from invasive plants in Antietam National Battlefield." *Collateral Values: The Natural Capital Created by Landscapes of War* (2019): 133-154.
5. Machlis, G. E., & Hanson, T. (2008). Warfare ecology. *BioScience*, 58(8), 729-736.
6. Milchunas, D. G., Schulz, K. A., & Shaw, R. B. (2000). Plant community structure in relation to long-term disturbance by mechanized military maneuvers in a semiarid region. *Environmental Management*, 25(5).

## Використання у будівельній сфері відходів війни, що містять скло

Самойленко Н.М., Катенін В.Д., \*Сакун А.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

[Antonina.Sakun@kphi.edu.ua](mailto:Antonina.Sakun@kphi.edu.ua)

## Use of war waste containing glass in the construction sphere

Samoilenko N.M., Katenin V.D., \*Sakun A.O.

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute," Kharkiv, Ukraine

[Antonina.Sakun@kphi.edu.ua](mailto:Antonina.Sakun@kphi.edu.ua)

**Abstract.** War waste generated by destroying buildings, structures, and solar energy facilities contains glass. This includes solar photovoltaic panels damaged by weapons and large volumes of waste glass pharmaceutical ampoules. Glass is a resource well adapted for recycling, and its use as a secondary raw material conserves natural resources and reduces environmental pollution. Today, in Ukraine, it is almost impossible to set up the production of new solar panels from waste glass using globally accepted technologies. Recycling used or outdated pharmaceutical glass ampoules to produce new ampoule products is also a significant problem. In this regard, it is advisable to use this waste to produce in-demand products used in construction, which is relevant both now and during the period of the country's reconstruction.—An analysis of recent scientific research has shown the effectiveness of using glass scrap generated from solar photovoltaic panels in producing concrete and waste pharmaceutical glass ampoules in producing ceramic granite. The involvement of this waste in resource cycles helps conserve mineral resources and reduce environmental pollution, particularly carbon dioxide, in producing new products for construction needs. Using glass from waste solar photovoltaic panels in concrete production produces high-quality concrete for various purposes. Waste ampoule glass in 30%, added to the charge in the manufacture of angoba and glaze in producing ceramic granite, reduces the use of expensive natural raw materials and energy consumption in the fritting process.

**Keywords:** war waste, waste solar photovoltaic panels, waste glass pharmaceutical ampoules, environmental protection, construction.



## Вступ

Відходи війни є різноманітними за своїм складом та не передбачувано утворюються у різних місцях, у відмінних обставинах та мають неоднаковий ступінь руйнацій будівель і споруд. Серед найважливіших завдань в управлінні такими відходами виділяються наступні: ретельне видалення відходів з місця утворення за умови недопущення повторного забруднення довкілля та максимально корисне використання їх ресурсного потенціалу.

Розбирання відходів руйнації, сортування та видалення є досить складними і відповідальними. Ракетними ударами руйнуються та пошкоджуються різні за характером споруди: промислової та непромислової сфери, житлові та адміністративні. До розбирання завалів залучаються комунальні служби, працівники підприємств та інших організацій, мешканці будинків та домогосподарств, волонтерські організації. Їх робота полягає у розбиранні та сортуванні відходів, до яких, в основному, належать будівельні. Практика показує, що відсортовуються такі матеріали як цегла, деревина, метал, які плануються для повторного використання. Велику проблему, що привертає увагу, є наявність у відходах скла, що може перероблятися у корисну продукцію. Звичайно основну частину у відходах складають пошкоджені склопакети, скло яких розбивається. Водночас скло також міститься у пошкоджених сонячних фотоелектричних панелях (СФЕП), які можуть бути у відходах руйнацій будь-яких за призначенням будівлях, що використовували сонячну генерацію, а також на промислових площадках сонячних електричних станцій. Також у відходах руйнацій медичних закладів може знаходитись велика кількість фармацевтичних скляних ампул (ФАС) з вмістом лікарського засобу. Відходи СФЕП містять компоненти, які шкідливо впливають на довкілля (Самойленко та ін., 2023), а ампули – залишки лікарського засобу, що чинить негативний вплив на компоненти навколишнього середовища (Samoilenko et al., 2019). Такі відходи не можуть змішуватись з листовим склом і при розбиранні завалів та сортуванні відходів їх доцільно окремо виділяти та у подальшому направляти на використання у виробництвах, де склобій може стати заміником природної сировини. Галуззю, що включає такі виробництва, є будівництво, яке необхідно розвивати як у теперішній час, так і у період відновлення країни. Зокрема, акцент може робитись на виробництві будівельних та оздоблювальних матеріалів.

## Методи та матеріали.

В роботі використовувалися методи аналізу та порівняння наукових досліджень, присвячених темі використання відходів скла у будівельній галузі.

## Результати та обговорення

Процес сортування відходів руйнації по своїй суті визначає можливість подальшого відновлення чи рециклінгу складових відходів, повнота яких безпосередньо впливає на обсяги сміттєзвалищ, а також погіршення стану довкілля через надходження шкідливих речовин у ґрунт та підземні води. Операції розбирання та сортування відходів не можуть мати абсолютно нормативний підхід, так як характеризуються своїми особливостями щодо власника відходів (промислова організація, домогосподарство та ін.), учасників виконання робіт, фінансування, людських ресурсів, поінформованості учасників процесу. У будь-якому випадку найважливішими питаннями у здійсненні таких робіт є правильне та повне сортування відходів, що запобігає потраплянню та розміщенню шкідливих відходів у довкілля та максимальне використання потенціалу ресурсоцінних відходів. З урахуванням даної цілі комунальні служби повинні забезпечувати місця розбору відходів контейнерами для збору особливо цінних відходів.

Вирішення проблеми управління відходами у теперішній час може бути розглянуто у двоякому вимірі: короткочасного періоду та у довгостроковій перспективі. Зважаючи на практичну неможливість створення необхідного обсягу об'єктів переробки відходів у короткочасний період, доцільно робити акцент на шляхах їх рециклінгу на працюючих виробництвах. Запровадження рециклінгу відходів скла у сферах будівельної галузі вимагає наявності ефективних та доступних технологій. Створення нових технологій потребує



додаткових наукових досліджень, спрямованих на розширення розробок, для досліджень яких необхідно фінансування. Крім того, наукова робота може мати тривалий період до отримання кінцевої розробки. Зважаючи на це, доцільним є аналіз вже існуючих та ефективних для запровадження наукових розробок, які пропонують вирішення проблеми управління відходами шляхом їх рециклінгу. Водночас у довгостроковій перспективі залишається потреба у проведенні наукових досліджень щодо рециклінгу відходів війни з урахуванням прогресивних вимог зеленої економіки та стійкого управління відходами.

Метою даного дослідження є аналіз технологій переробки скла у будівельній галузі та обґрунтування доцільності використання скла відходів сонячних фотоелектричних панелей у виробництві будівельних матеріалів та відходів ампульного медичного скла при виготовленні сучасного аналогу керамічної плитки – керамограніту.

Достеменно невідомо, скільки утворилось відходів руйнувань і які обсяги підлягали відновленню та рециклінгу, але накопичення таких відходів за деякими оцінками сягає сотень тисяч тон і більше. За попередніми даними обласних військових адміністрацій, станом на кінець 2023 року, загальна кількість зруйнованих або пошкоджених об'єктів житлового фонду становить близько 250 тис. будівель, а адміністративних – 630. Знищено або пошкоджено 8 % СЕС. Також за цей період знищено 299 та пошкоджено 985 закладів охорони здоров'я (лікарні, поліклініки, медсклади та ін.) (Звіт, 2024). Великі обсяги відходів сонячних фотоелектричних панелей утворились при ударах по об'єктах СЕС.

Зважаючи на надзвичайно значні обсяги руйнувань можливо припустити, що відходів СФЕП утворилась також велика кількість, до якої у теперішній час можуть додаватись відходи СФЕП, що утворились іншим шляхом, а саме: конструкції, що виведені з експлуатації у зв'язку із закінченням терміну використання та непридатні для застосування внаслідок різних пошкоджень; відходи, що утворились при будівництві. Такі обсяги відходів дають підстави розглядати їх як джерело вторинного ресурсу для промислового виробництва. Також утворилась велика кількість відходів ФАС, які можуть бути залучені у процес переробки разом з іншими аналогічними відходами, що утворюються у теперішній час у медичних закладах, аптеках, аптечних складах та ін.

У 2022 році у світі було вироблено 150 млн т скла, проте переробляється лише 21% світового виробництва (Gegase, 2024). Тому відходи скла стають все більшою проблемою, а переробка склобою з отриманням нової продукції, як правило, потребує складних технологічних підходів. Для великих обсягів спеціального, змішаного, битого та забрудненого скла, які наразі не можуть бути перероблені, терміново потрібні нові рішення. Традиційні технології переробки скла обмежені необхідністю розділення склобою на різні типи скла та надзвичайною чутливістю процесу переплавлення до будь-якого забруднення (Heriyanto et al., 2018).

Скло вважається одним з найбільш придатних для вторинної переробки матеріалів, які при рециклінгу не втрачають своїх властивостей та характеристик. Добре відомо, що переробка відходів скла заощаджує природні ресурси, зменшує забруднення довкілля та знижує витрати на виробництво. Для плавлення склобою потрібно менше енергії ніж для плавлення і реакції матеріалів шихти, що зменшує споживання палива та, відповідно, утворення забруднюючих речовин, серед яких є пил та діоксид вуглецю. Зменшення викидів парникових газів, можуть досягати 250-300 кг на т переробленого скла (DeBrincat et al., 2019) Крім того, бите або відпрацьоване скло (склобій) може частково замінити мінеральну сировину.

Склобій використовується для виготовлення багатьох виробів, зокрема, скловолкна, наповнювачів фарб та пластиків, флюсів у ливарному виробництві та ін. Водночас одним із найбільш перспективних та практичних напрямків є використання відходів скла у будівельній сфері. В першу чергу, це обумовлено тим, що скло містить приблизно 72% кремнезему, а пісок – 89–96% кремнезему, тому скловідходи можуть бути заміною піску у виробництві будматеріалів. Як зазначається (Oludaisi Adekomaya et al., 2021), у багатьох наукових роботах показано, що найкраще мінімізувати негативний вплив склобою на довкілля його включенням



до складу будівельних матеріалів, таких як цемент, будівельні розчини, бетони та блоки. Встановлено, що матеріали зі склобою можуть бути використані в будівельних конструкціях.

Бетон, що містить порошкоподібне скло, продемонстрував чудові властивості довговічності, а отримані результати показали, що склобій може бути потенційно використаний як крупний і дрібний заповнювач у виробництві бетону (Hussein Hamada et al., 2022). Також скло може слугувати заміною гравію та піску у будівництві дорожнього полотна (What to do..., 2022). Крім того, подрібнене до стану дрібного піску скло допустимо використовувати не тільки у виробництві бетонів, але й у поєднанні з пінопластом для створення легкого наповнювача для ізоляції та будівництва фундаменту. Описані дослідження щодо змішаних відходів скла з отриманням цінних будівельних матеріалів без переплавлення, – на первинну сировину для виробництва полімерних склокомпозитів (Heriyanto et al., 2018).

Доведено, що додаткові цементуючі матеріали є ефективною альтернативою для зменшення вуглецевого сліду бетону шляхом часткової заміни цементу в його рецептурі (Higuchi et al., 2021). Склопорошок має великий потенціал для покращення механічних характеристик бетону та його довговічності. Як зазначено (Heriyanto et al., 2018), подрібнений склопорошок можна використовувати як часткову заміну цементу в будівельних розчинах, а також як наповнювач для асфальту, бетонних тротуарів і тротуарних плит та ін. Однак, оскільки скляні відходи можуть бути використані для заміни лише 10–30% вихідних матеріалів у цих застосуваннях, вони можуть поглинати лише невеликі обсяги цих масових відходів.

Таким чином, аналіз наукових публікацій показує перспективність переробки склобою у будівництві та потребує розширення технологій рециклінгу цього цінного вторинного ресурсу.

Новою розробкою щодо використання скла у виробництві будматеріалів є рециклінг скла сонячних фотоелектричних панелей, що пропонується застосувати при виготовленні бетону (Корогодська та ін., 2023). Доведена можливість використання скла сонячних фотоелектричних панелей для часткової заміни цементу та розроблення зразків бетонів на його основі. Встановлено, що відходи склобою з СФЕП можуть бути використані як заповнювач для отримання бетонів загальнобудівельного призначення. Розроблені бетони придатні для несучих елементів цегляної кладки та використовуватись для виготовлення мостових конструкцій, гідротехнічних споруд, спеціальних залізобетонних конструкцій, банківських сховищ, метро, дамб та інших конструкцій зі спеціальними вимогами.

На сьогодні ще одним напрямком рециклінгу відходів скла у будівельній галузі є використання склобою фармацевтичних ампул у виробництві керамічної плитки. Масово такі відходи в умовах війни утворюються у лікарнях, реабілітаційних медичних центрах, поліклініках, а протерміновані – в аптечних складах, аптеках, і навіть у центрах гуманітарної допомоги. Ці заклади здійснюють діяльність з управління відходами за нормативними вимогами (збір та передача відходів спеціалізованим суб'єктам господарювання). На жаль, величезні обсяги фармацевтичних відходів (значною частиною протерміновані ліки) потрапляють на сміттєзвалища як побутові відходи.

В Україні чітко визначені операції управління з фармацевтичними відходами, які включають їхній збір, сортування, транспортування, обробку та знищення. Скляні ампули спалюють у спеціальній печі при температурі 850-1000<sup>0</sup>С, що є енергетично затратним та не екологічним процесом.

Розроблені технологічні аспекти використання ФАС при виготовленні ангобу та глазури у виробництві керамограніту (Samoilenko et al., 2019, Федоренко та ін., 2023). Проведено дослідження по розробці ангобних покриттів із використанням суміші відходів скляних фармацевтичних ампул для технології глазурованого керамограніту з вмістом 30 мас. % скловідходів. Ресайклінг таких відходів зменшує негативний вплив на довкілля та сприяє збереженню мінеральної сировини. Визначено раціональний шихтовий склад глянцевого ангобу, який містить 30 мас. % скловідходів, що дозволяє на 10 % знизити вміст коштовної ангобної фритти (Samoilenko et al., 2019).

Дослідження, проведенні щодо переробки відходів скляних фармацевтичних ампул, показують ефективність їх використання для виготовлення полив для вироблення



керамограніту (Федоренко та ін., 2023). Розроблено сировинні композиції з вмістом 15-30 мас. % даних відходів, що забезпечують високі експлуатаційні показники. Використання відходів даного виду сприяє економії високовартісної сировини, скороченню витрат енергоресурсів та зменшує викиди діоксиду вуглецю та інших шкідливих речовин при виготовленні керамограніту.

### Висновки

При наявності у відходах руйнацій уражених СФЕП та фармацевтичних скляних ампул їх доцільно збирати та подалі використовувати склобій у якості замітника природних матеріалів при виготовленні продукції, на яку є значний попит. У теперішній час та у короткостроковій перспективі пропонується рециклінг скла даних відходів у виробничих процесах виготовлення матеріалів, які використовуються у будівництві, а саме отримання бетонів. Переробку відходів скляних фармацевтичних ампул, що масово утворюються у лікарняних та інших медичних закладах доцільно проводити при виготовленні ангобу та поливи для отримання керамограніту.

Запропонований напрямок використання даних видів відходів для виробництва нового продукту є енерго- та ресурсоефективним і відповідає діяльності щодо впровадження вимог ЄС у галузі управління відходами, положенням Закону України «Про управління відходами» від 20.06.2022 р. та спрямований на сталий повоєнний розвиток країни.

### Список використаних джерел

1. Самойленко Н. М., Корогодська А. М., Катенін В. Д. Дослідження впливу відходів сонячних фотоелектричних панелей на ґрунт. *Екологічні науки*, 2023, (5)(50), 25-29.
2. N. Samoilenko, L. Shchukina, A. Baranova (2019). Development of engobe composition with the use of pharmaceutical glass waste for glazed ceramic granite. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 100, Issue 10, pp.6-12. 10.15587/1729-4061.2019.175922.
3. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року. Квітень 2024. Available: [https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24\\_Damages\\_Report.pdf](https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf)
4. DeBrincat G., Babic E. Rethinking the Life-cycle of Architectural Glass. <https://www.glassonweb.com/article/rethinking-life-cycle-architectural-glass>
5. Katy S. Gerace, John C. Mauro (2024). Characterization of soda–lime silicate glass bottles to support recycling efforts. *International Journal of Ceramic Engineering & Science*. vol. 6, Issue 3 e10217. <https://doi.org/10.1002/ces2.10217>
6. Heriyanto, Farshid Pahlevani, Veena Sahajwalla (2018). From waste glass to building materials – An innovative sustainable solution for waste glass. *Journal of Cleaner Production*. vol.191, pp. 192-206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.214>
7. Oludaisi Adekomaya, Thokozani Majozi (2021). Mitigating environmental impact of waste glass materials: review of the existing reclamation options and future outlook. *Environmental Science and Pollution*. DOI: [10.1007/s11356-020-12263-0](https://doi.org/10.1007/s11356-020-12263-0)
8. Hussein Hamada, Alyaa Alattar , Bassam Tayeh , Fadzil Yahaya , Blessen Thomas (2022). Effect of recycled waste glass on the properties of high-performance concrete: A critical review glass materials: review of the existing reclamation options and future outlook. *Case Studies in Construction Materials*. vol.17. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01149>
9. What to do with glass that is not recyclable? Averda. Waste Management. Available: <https://www.averda.com/rsa/news/glass-not-recyclable>
10. Higuchi, A. M. D., dos Santos Marques, M. G., Ribas, L. F., & de Vasconcelos, R. P. (2021). Use of glass powder residue as an eco-efficient supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, 304, 124640. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124640>
11. Корогодська А., Катенін В., Самойленко Н., Шабанова Г. (2023). Розробка складів бетонів з використанням відходів скла сонячних фотоелектричних панелей. *Вісник Хмельницького національного університету*, №6, с.189-193.



12. Федоренко О.Ю., Самойленко Н.М., Баранова А.О., Лісачук Г.В., Кривобок Р.В. (2023). Розробка складу матової поливи з використанням фармацевтичних скловідходів для виробництва керамограніту. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. No. 5. pp. 123-134. DOI: 10.32434/0321-4095-2023-150-5-123-134.

## Перспективи використання модифікованого дигестату для біоремедіації ґрунтів, що постраждали внаслідок війни

\*Сіпко І., Аблеєва І.

*Сумський державний університет, Суми, Україна*

[i.sipko@ecolog.sumdu.edu.ua](mailto:i.sipko@ecolog.sumdu.edu.ua)

## Prospects of using modified digestate for bioremediation of war-damaged soils

\*Sipko I., Ablieieva I.

*Sumy State University, Sumy, Ukraine*

[i.sipko@ecolog.sumdu.edu.ua](mailto:i.sipko@ecolog.sumdu.edu.ua)

**Abstract.** The places of combat clashes carry not only an immediate threat from the use of ammunition, but also a distant one - in the form of pollution by heavy metals, oil hydrocarbons and disruption of life cycles and circulation of substances in ecosystems. This leads to the deterioration of the quality of the soils until they lose their properties temporarily or on a permanent basis, and in the future - with the possible removal of lands suitable for agricultural use, including due to their danger. The reduction of cultivated areas will reduce the volume of production, which will significantly affect the well-being of low-income countries, and in the direct sense will lead to a food crisis. The use of biogas digestate to rehabilitate disturbed lands is becoming widespread, as the fermented biomass contains a significant amount of macro- and microelements, which are necessary for plant growth and increased productivity. Adding nutrients together with biofertilizer initiates the growth and development of local microorganisms, which accelerates self-regeneration processes without disturbing the composition of the native microflora, and also contributes to the improvement of plant growth and resistance due to the addition of the NPK complex. This work focuses on the study of the possibility of using biogas digestate in combination with biosurfactants for cleaning soils contaminated with heavy metals and oil products, followed by the return of their qualities, properties and restoration or increase of fertility as a technology for protecting the geosphere.

**Keywords:** bioremediation, biosurfactant, heavy metals, digestate, oil products.

### Вступ

У зв'язку з теперішньою ситуацією в Україні вже сьогодні виникла проблема біоремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами та нафтопродуктами, так як значна частина старої техніки зайшла та залишилася підбитою на території нашої країни. А це з високою вірогідністю призводить до тимчасового або постійного вилучення земель із сільськогосподарського використання, порушення кругообігу речовин і збільшення ризику захворюваності. Так виглядає локальність проблеми. У глобальному плані відчуження родючих земель означає скорочення посівних площ та зменшення врожаю, що зрештою стане відчутним для всього світу, зважаючи на частку української сільськогосподарської продукції на світовому ринку. Для вирішення цієї проблеми розглянуто існуючі та доступні технології, які можуть стати перспективними для повернення ґрунтам їх властивостей.