

© В.І. Бондаренко<sup>1</sup>, О.В. Філоненко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

<sup>2</sup> ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча», Маріуполь, Україна

## АНАЛІЗ НАКОПИЧЕННЯ ТА ВПЛИВУ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ НА НАВКОЛИШНЄ ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

© V. Bondarenko<sup>1</sup>, O. Filonenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup> PJSC «Ilyich Iron and Steel Works»

## ANALYSIS OF THE ACCUMULATION AND INFLUENCE OF METALLURGICAL SLAG TO THE ENVIRONMENT

**Мета.** Аналіз та узагальнення особливостей накопичення й використання, а також потенційного впливу металургійних шлаків на природне навколишнє середовище як першочергова складова розв'язання проблеми масштабності їх утилізації.

**Методика досліджень.** Для досягнення поставленої мети використано комплексний методичний підхід, що включає: аналіз даних державної статистики утворення відходів; аналізу національної та регіональної доповідей про стан навколишнього середовища; аналіз транспортних розв'язок регіонів-накопичувачів шлаків; аналіз наукових праць з впливу шлаків на довкілля.

**Результати досліджень.** Показані галузеві джерела накопичень промислових відходів, серед яких потенційно високим рівнем утилізації володіють шлаки. Запропоновано відвали металургійних шлаків за щільністю розташування виділити їх у 6 районів. Виконано градацію районів-накопичувачів шлаків за обсягом та найбільш зайнятими площами. Виділено вагомий впливові та обмежуючі фактори розвитку ринку шлаків. Визначено на підставі аналізу досліджень, що шлаки мають вплив на природне середовище, але рівень впливу може бути як критичним, так і допустимим. Рекомендовано для встановлення достовірного рівня забруднення довкілля металургійними шлаками експериментально визначити вплив відвалів на ґрунти та якість води при безпосередньому їх контакті.

**Наукова новизна.** Складено припущення, що для транспортно та економічно ізольованих умов розташування накопичень металургійних шлаків пошук нових способів їх широкомасштабної утилізації в прилеглий місцевості повинен ґрунтуватись на експериментальному доведенні їх екологічної безпечності для довкілля.

**Практичне значення.** Створено районування та градацію накопичень металургійних шлаків за щільністю розташування, обсягами накопичення та зайнятими площами. Виділено низку корисних аспектів та особливостей для розв'язання проблеми утилізації шлаків.

**Ключові слова:** промислові відходи, металургійні шлаки, утилізація, природне навколишнє середовище.

**1. Вступ.** Для забезпечення потреб людства в різноманітних ресурсах застосовуються технології переробки сировинних ресурсів в кінцеві товарні продукти і характеризуються значним обсягом відходоутворення, що забруднює природне навколишнє середовище, формуючи небезпечну техногенну та екологічну ситуацію. Так, наприклад щорічно в країнах-членах Європейського Союзу (27 країн)

утворюється щорічно утворюється 1,3 млрд т твердих відходів або 3,5 т на 1 мешканця [1], а в Україні, при населенні в 40 млн чол. щорічно утворюється 0,45 млрд т твердих відходів або 11,25 т на 1 людину.

Як свідчать статистичні данні виробництво українського ВВП характеризується значною енергоємністю, яка більш ніж у 9 разів перевищує середньоєвропейський показник. Щороку імпортується практично 100 % палива для атомних станцій, 90% – нафти, 80% – природного газу та близько 15% – вугілля. В структурі ВВП зросла частка сировинно- і енергоємних (найбільш забруднюючих до-вкілля) галузей промисловості – гірничо-металургійної, паливно-енергетичної, а також хімічної і нафтохімічної. Сформувалася яскраво виражена сировинна спрямованість експорту (60%, з них чорна металургія – 40%). Значних масштабів набуло фізичне та моральне старіння основних промислово-виробничих фондів (60-70%), їх низькотехнологічне оснащення, що підвищує рівень відходоутворення [2-4].

Вагоме значення в рівні накопичення відходів відіграє застосування високо-технологічного обладнання з переробки та державні програми регулювання по-водження з відходами через їх визнання товарним продуктом, особливо малоне-безпечних для довкілля та корисних для різних галузей економіки відходів. Ці державні програми здатні стимулювати розвиток внутрішнього ринку викорис-тання відходів в економіці й підвищення рівня масштабності їх утилізації. Так, вторинній переробці відходів в країнах Європейського союзу підлягає в серед-ньому до 50%, а в Україні – до 5%, а рівень загальної утилізації складає в ЄС – 70-95%, в Україні – 25-30%.

В роботі аналізується обсяги накопичення металургійних шлаків по площі України, підіймаються проблемні питання масштабності утилізації та приділя-ється увага їх впливу на навколишнє природне середовище.

## 2. Основна частина

**2.1. Джерела накопичення металургійних шлаків.** Багаторічне функціо-нування підприємств різних галузей економіки України призвело до накопи-чення понад 30 млрд т промислових відходів, а займані ними площі за різними оцінками сягають 160-180 тис. га [5]. Динаміка накопичення та поводження з те-хногенними відходами 2010-2018 рр. наведена на рис. 1.1, щорічне накопичення промислових відходів склало на рівні 0,35-0,45 млрд т. [6, 7].

Аналіз рис. 1 показує, що з 2014 р. спостерігається суттєве зменшення нако-пичення відходів на рівні 0,3-0,35 млрд т, що пов'язано з неможливістю прове-дення Міністерством екології точного обліку їх накопичення на непідконтроль-них територіях. За видом поводження з відходами лідирує їх видалення у спеці-ально відведені місця або місця видалення відходів МВВ в обсязі понад 50% від загально утворених. Рівень утилізації відходів знаходиться на рівні 25-30%, а найбільше утилізації підлягають пусті гірські породи (64%) при рекультивації (засипці) зон обвалення внаслідок деформації денної поверхні, порушеної гірни-чими роботами з видобутку корисних копалин.

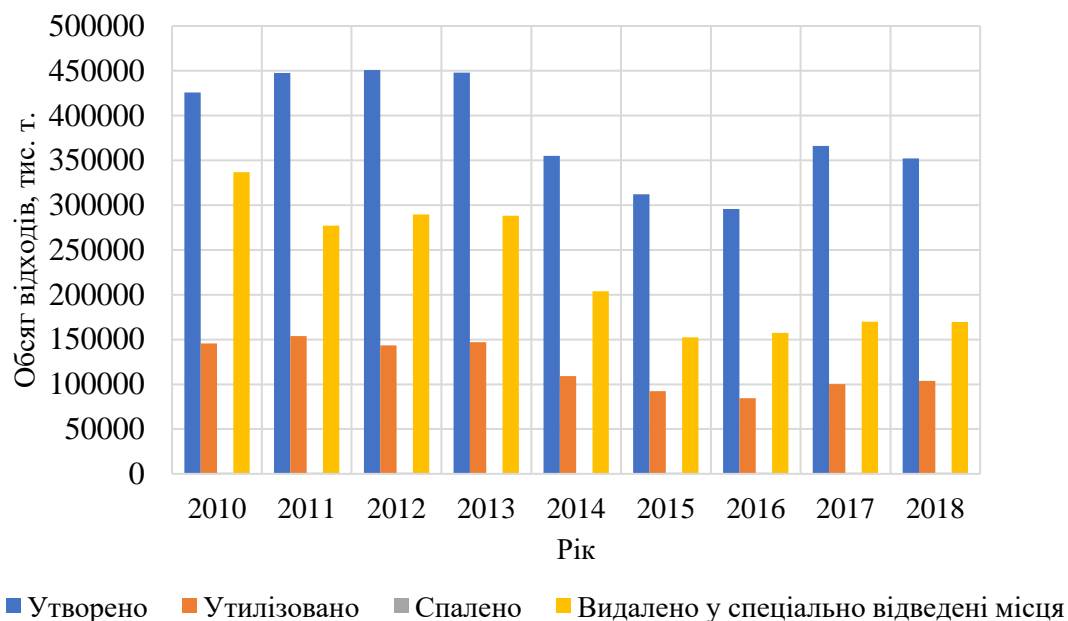


Рис. 1. Динаміка утворення та поводження з відходами в Україні за 2010-2018 рр.

За видом економічної діяльності згідно даних табл. 1 основною галуззю – накопичувачем відходів в Україні є гірничодобувна промисловість, на яку приходить понад 85% від загально утворених відходів.

Таблиця 1  
Розподіл промислових відходів за видом економічної діяльності [6]

| Вид діяльності   | 2015     | 2016     | 2017     | 2018     |
|--|----------|----------|----------|----------|
| Сільське, лісове та рибне господарство                           | 8736,8   | 8715,5   | 6188,2   | 5968,1   |
| Добувна промисловість і розроблення кар'єрів                     | 257861,9 | 237461,4 | 313738,2 | 301448,9 |
| Переробна промисловість  | 31000,5  | 34093,0  | 32176,7  | 31523,2  |
| Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря | 6597,5   | 7511,5   | 6191,7   | 6322,7   |
| Водопостачання, каналізація, поводження з відходами              | 594,2    | 457,4    | 408,7    | 397,4    |
| Будівництво  | 376,2    | 300,2    | 493,8    | 378,8    |
| Інші види економічної діяльності                                 | 1047,2   | 984,6    | 998,7    | 751,3    |
| Разом  | 306214,3 | 289523,6 | 360196,0 | 346790,4 |

У добувній промисловості домінуюча роль з накопичення багатотоннажних промислових відходів належить видобутку металевих руд, перш за все залізних руд, що пов'язане зі складуванням на поверхні розкритих та кар'єрних порід, хвостів та шламів збагачення у відвали та сховища. Це обумовлено високим рівнем видобутку – 130 млн т/рік й найвищою щільністю руд та вміщуючих порід (2,5-4,0 т/м<sup>3</sup>). Аналізуючи теперішній рівень видобутку металевих руд та впровадження інноваційних технологій з промислового освоєння цінних компонентів та ресурсів з накопичень техногенних відходів гірничодобувної галузі, можна констатувати та прогнозувати, що у найближчі роки обсяги їх утворення будуть й надалі збільшуватись з відведенням нових цінних сільськогосподарських земельних площ.

Згідно табл. 1, близько 10% всіх щорічних накопичень промислових відходів складають відходи переробної промисловості. Як відмічається у статистичних даних за 2018 р., у відходах переробної промисловості домінуюче значення з показником 70% займають відходи металургійного виробництва, 18% – відходи виробництва харчових продуктів, 4% – виробництво хімічних речовин і хімічної продукції.

За даними Національної доповіді про стан навколишнього середовища в Україні [8] найгірший екологічний стан довкілля спостерігається в Донецькій, Дніпропетровській, Запорізькій та Луганській областях, де металургійна, гірничодобувна та хімічна галузі є пріоритетними. Якщо розглядати накопичення відходів всіх класів небезпеки (I-IV) за регіонами України, то без сумніву лідером є Дніпропетровська область, де щорічно накопичується понад 80% всіх відходів країни (рис. 2).

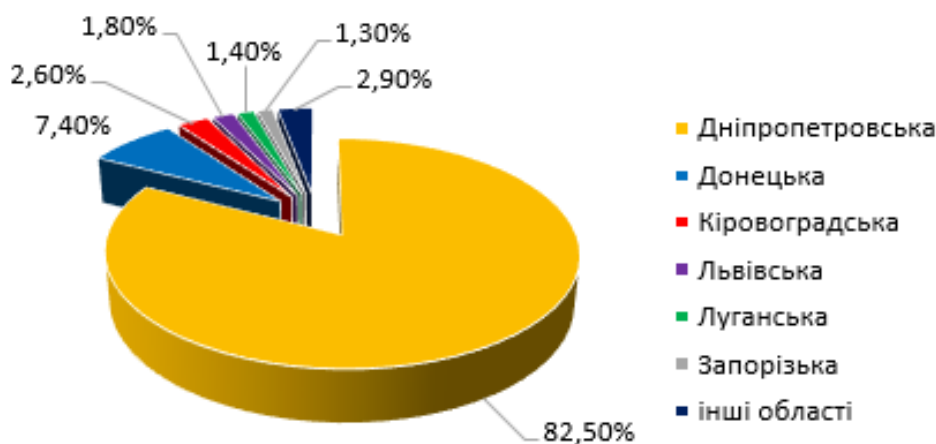


Рис. 2. Розподіл відходів по промислових областях України

Концентрація значних обсягів накопичення відходів викликано розташуванням у Дніпропетровській області основних промислових виробництв гірничо-металургійного комплексу України – залізорудні кар'єри, рудні шахти, гірничо-збагачувальні комбінати, металургійні заводи.

Гірничо-металургійний комплекс (ГМК) є провідною галуззю економіки України, а його сталий розвиток формує основні валютні надходження в державний бюджет країни, які сягають 3 млрд. дол [9, 10]. Окрім вагомо внеску підп-

приємств ГМК у валютні надходження до бюджету країни недоліком його функціонування є те, що у процесі створення основної продукції (виплавка чавуну, сталі) утворюються багатотоннажні відходи у вигляді металургійних шлаків, які недостатньо використовуються в якості сировинного ресурсу та під які відводяться цінні земельні площі [11-13].

**2.2. Обсяги накопичення та займані площини відвалами металургійних шлаків.** На території, підконтрольній Україні, основні потужності металургійного виробництва зосереджені в наступних підприємствах: ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча», ПрАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь», ВАТ «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь», ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ЄВРАЗ «Дніпропетровський металургійний завод», ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» Ф.Е. Дзержинського», ПАТ «Запорізький завод феросплавів», ПАТ «Дніпроспецсталь», «Інтерпайп нижньодніпровський трубопрокатний завод», ПАТ «Нікопольський завод феросплавів» та ін.

В Україні накопичено у відвалах сталеплавильних шлаків з вмістом заліза більше 20% понад 100 млн т, а доменних з вмістом заліза в межах 5-7% – близько 300 млн т [14]. У металургійній промисловості щорічний вихід шлаків в залежності від потужності виробництв становить: доменних – близько 45 млн т, мартенівських – 20 млн т, кольорової металургії – 10 млн т, інших металургійних виробництв – 5 млн т, не рахуючи величезної кількості шлаків, накопичених у відвалах металургійних підприємств. Тільки доменних шлаків щорічно зливається в відвали у вигляді розплавів близько 15 млн т, решта їх частина гранулюється [15]. Задача утилізації шлаків в зв'язку зі зростанням екологічних і економічних проблем є досить актуальною.

Відходи металургійного виробництва, так само як і хвостосховища, займають чисельні площі під складування. Найбільшим відвалом металургійних шлаків в Україні є балка «Середня», що розташована в 3 км від міста Запоріжжя. В цю балку складують свої відходи 3 потужних підприємства – «Запоріжсталь», «Дніпроспецсталь» та «Запорізький завод феросплавів» (рис. 3).



Рис. 3. Найбільший в Україні відвал металургійних шлаків (240 га), балка «Середня» (м. Запоріжжя)



Основним регіоном-накопичувачем відвалів металургійних шлаків є Дніпропетровська, Донецька та Запорізька області. Аналіз наявних металургійних підприємств дозволив за найбільш щільним розташуванням згрупувати їх відвали металургійних шлаків та виділити у 6 районів. За результатом аналізу місць розташування техногенних утворень металургійних шлаків складена узагальнена схема районів (рис. 4).



Рис. 4. Схема районів накопичень металургійних шлаків України:

I – Приазовський район; II – Краматорський район; III – Запорізький район;  
IV – Криворізький район; V – Придніпровський район; VI – Побузький район

I. Придніпровський район – 4 шт. (шлаковий відвал ПАТ «Дніпропетровський металургійний завод ім. Петровського», шлакові відвали ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф.Е. Дзержинського», шлакові відвали ПАТ «Інтерпайп Нижньодніпровський трубопрокатний завод», Шлаковий відвал ВАТ «Кременчуцький сталеливарний завод»).

II. Приазовський район – 2 шт. (шлаковий відвал ПАТ «Металургійний комбінат Азовсталь», шлаковий відвал ПАТ «Металургійний комбінат ім. Ільча»).

III. Краматорський район – 2 шт. (шлаковий відвал ТОВ «Краматорський феросплавний завод», шлаковий відвал ВАТ «Енергомашпецсталь»).

IV. Запорізький район – 3 шт. (шлакові відвали б. «Середня» ПАТ «Запоріжсталь», ПАТ «Днепрспецсталь», ПАТ «Запорізький завод феросплавів»; шлаковий відвал б. Чорна гора ПАТ «Запоріжсталь»; шлаковий відвал «Запорізький титаномагнієвий комбінат»).

V. Криворізький район – 5 шт. (шлаковий відвал ПАТ «Нікопольський завод феросплавів», 4 шлакові відвали ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»).

VI. Побузький район – 1 шт. (шлаковий відвал ТОВ «Побузький феронікелевий комбінат»).

В результаті аналітичної обробки даних проведено градацію районів за обсягами накопичення та зайнятими площинами, що представлено на рис. 5.

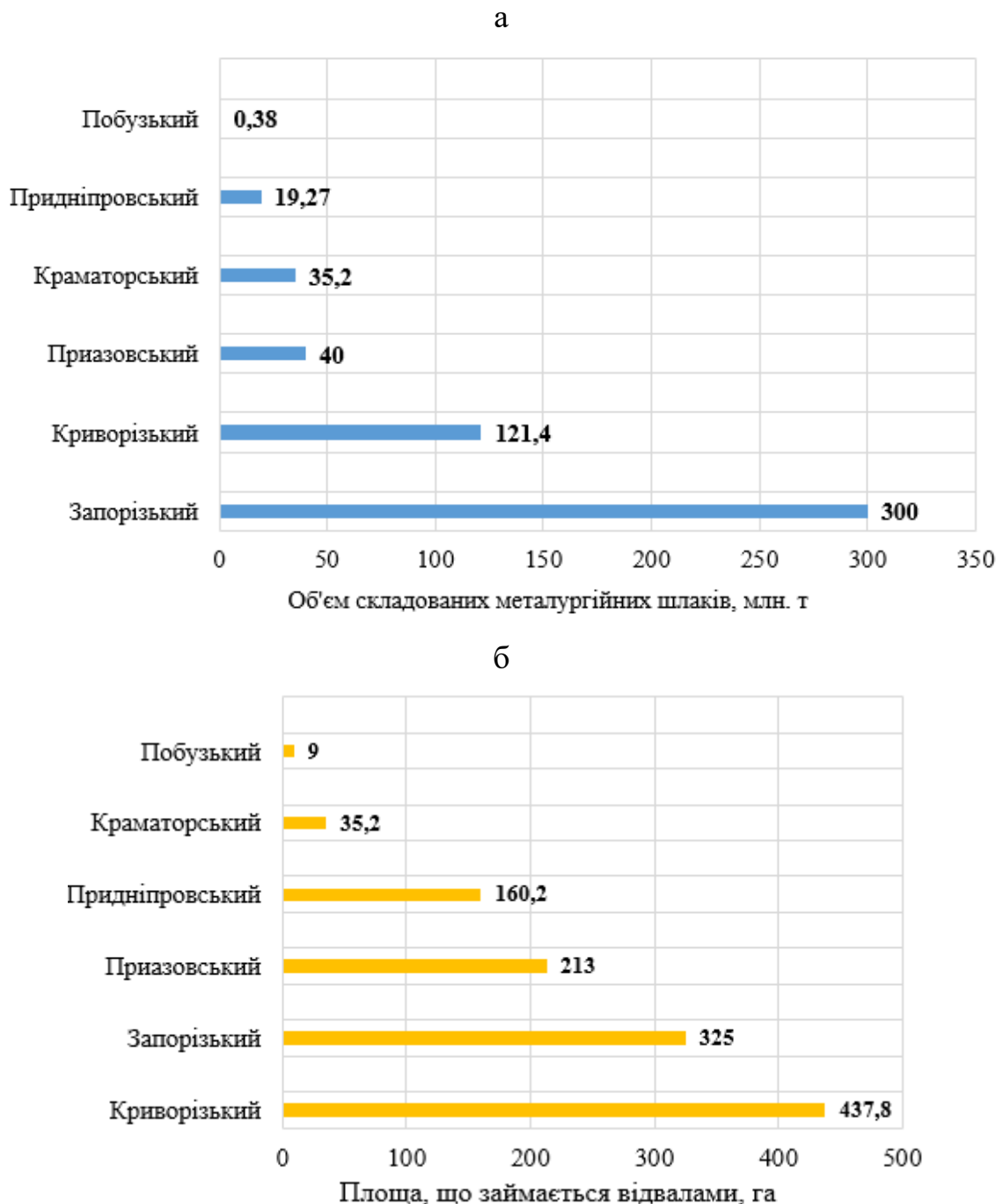


Рис. 5. Градація районів техногенних накопичень металургійних шлаків (а) за їх за об'ємом; (б) за площею, що займається

Аналіз складених гістограм рис. 5, дозволяє встановити, що за обсягом запасів металургійних шлаків лідером є без сумніву Запорізький район (300 млн т), а найбільш займані ділянки під відвалами шлаків Криворізького району – понад 1500 га землі, тому будь-яке скорочення накопичень металургійних шлаків на території України є актуальним питанням для довкілля та суспільства в цілому.

**2.3. Проблемні аспекти масштабності використання металургійних шлаків.** З позиції утилізації багатотоннажних відходів першочергове значення мають саме доменні гранульовані та відвальні шлаки чорної металургії, які за своїм хімічним складом наближені до цементних клінкерів та являють цінність у вигляді сировинного ресурсу для будівельної промисловості. Тому пріоритетне для утилізації значення мають регіони-накопичувачі Запорізького, Криворізького, Придніпровського районів. На сьогодні рівень утилізації шлаків складає 45%, з них майже 50% використовує цементна галузь, по 20% будівництво доріг та закладання виробленого простору шахт [16-18].

Низький рівень утилізації металургійних шлаків в Україні обумовлений недосконалістю законодавчої бази, де шлаки фігурують як відходи, а не побочний продукт, що юридично обмежує їх використання з екологічної точки зору, відсутність дієвих механізмів стимулювань металургійних підприємств до цільового використання шлаків у різних галузях економіки.

Навіть в разі майбутніх позитивних законодавчих змін з державного регулювання в сфері поводження з безпечними відходами IV класу, які являють собою цінний сировинний ресурс (такі як металургійні шлаки), то вагомим впливовим та обмежуючим фактором розвитку ринку доменних гранульованих шлаків буде їх географічне розташування та віддаленість до споживачів й наявність розвиненої транспортної інфраструктури, адже транспортні витрати значно перевищують ринкову вартість 1 т металургійних шлаків.

Аналіз місць розташування шлаків (рис. 6) дозволяє в першому наближенні оцінити перспективність їх розташування з позиції віддаленості та ізолюваності до основних підприємств цементної галузі. Так, Запорізький, Криворізький, Придніпровський райони розташовані здебільшого в найбільш зручному місцеположенні до основних підприємств цементної промисловості (рис. 6, а), а металургійні шлаки Приазовського району знаходяться у менш вигіднішому положенні, у крайній південно-східній частині України. Якщо Запоріжжя, Кривий Ріг, Дніпро мають 4-5 залізничних розв'язок, то Маріуполь лише 1, що проходить поруч із окупованими територіями.

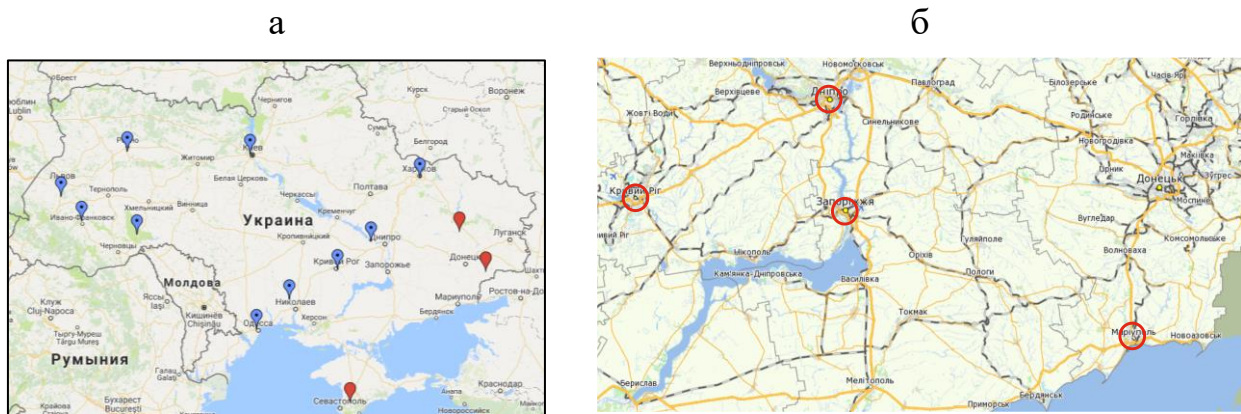


Рис. 6. Розміщення основних підприємств цементної промисловості (а) та транспортної розв'язки регіонів-накопичувачів металургійних шлаків (б)



Відстань від основних споживачів, високі тарифи на транспортування, обмежена пропускна здатність транспортної системи, дефіцит вагонного парку, відсутність великих локальних і регіональних інфраструктурних проектів, а також відсутність політики сприяння в області ресурсозбереження та екології, роблять шлакову продукцію маріупольських металургійних комбінатів менш неконкурентоспроможною порівняно з природним сировиною або шлакової продукцією інших підприємств чорної металургії України [19, 20].

Вищевикладене свідчить проте, що для ізольованих регіонів-накопичувачів металургійних шлаків необхідним та першочерговим завданням є пошук нових способів масштабної утилізації накопичених обсягів металургійних шлаків в прилеглий місцевості.

#### **2.4. Вплив металургійних шлаків на навколишнє природне середовище.**

Масштабність напрямів і рівня утилізації металургійних шлаків буде залежати від ступеню їх небезпечного впливу на основні природні компоненти ( ґрунти, воду, повітря) та здоров'я населення. Отже в залежності від обраного напрямку утилізації металургійних шлаків необхідно провести ряд хімічних та радіаційних досліджень складу їх фільтратів й на підставі отриманих результатів та порівняння допустимих норм за виділенням речовин обґрунтувати безпечність їх складування або використання.

Найбільш важливим аспектом є визначення впливу шлакових накопичень на ґрунти, адже здебільшого у спеціально відведених місцях відведення відходів (МВВ) відвали металургійних шлаків розташовуються саме на земельних ділянках, зазвичай на відстані від поверхневих вод.

Клас небезпеки відходів, у тому числі й металургійних шлаків тривалий час визначався виробником відходів або за його дорученням за загальноприйнятою методикою, згідно [21]. Визначення класу небезпеки промислових відходів найчастіше здійснювалось аналітичним розрахунковим методом, коли установлений фізико-хімічний склад відходів прирівнюють до LD або ГДК екзогенних хімічних речовин у ґрунті. Далі визначається сумарний індекс токсичності й визначається клас небезпеки та ступінь токсичності відходу. Проте наразі цей нормативний документ скасовано (з 2014 р.), новий документ «Державні санітарні правила встановлення класу небезпеки відходів» законодавчо не прийнято, тому розрахунок класу небезпеки здійснюється за старою методикою.

Деякі вчені у сфері екологічної безпеки піддають значній критиці підхід, що використовувався нормативному документі тривалий час, адже для визначення небезпечних властивостей відходів недостатньо використання лише п'яти показників, які, крім того, враховують вплив компонентів відходів тільки на організм людини, не беручи до уваги їх небезпеку для інших живих організмів і навколишнього природного середовища [22].

Окрім аналітичних розрахунків для більш високої достовірності впливу шлаків слід виконувати комплекс експериментальних досліджень з обов'язковим врахуванням часу:

– впливу фільтратів шлакових відвалів на ґрунти, причому важливим параметром буде час;

– впливу шлаків на якість води при безпосередньому їх контакті.

Відомо багато досліджень впливу металургійних шлаків, а саме доменних та сталеплавильних на стан природного навколишнього середовища, які показують як негативні, так і позитивні результати з позиції їх екологічної небезпеки. Це вірогідно пов'язано із широким різноманіттям властивостей накопичуваних металургійних шлаків у відвалах, які залежать від властивостей вихідних матеріалів, режиму доменного процесу і від умов його охолодження після зливу. Тому відвальний доменний шлак у відвалах різних заводів, та, навіть, у відвалі одного комбінату, відрізняється за зовнішнім виглядом, складом, будовою, фізичним та механічним властивостями. З часом під дією вологи і вуглекислоти відбуваються більш-менш тривалі фізичні та хімічні процеси вапняного і залізного розпаду [23].

В роботі [24] приведено дослідження вмісту радіоактивних речовин у відходах Таразького металургійного заводу. Було встановлено, що для доменних шлаків 75% величини показника еколого-економічної оцінки забрудненості доводиться на природні радіонукліди і 25% на важкі метали, незважаючи на їх високий вміст.

Було проведено дослідження міграції ванадію зі шлаків виробництва феро-ванадію в модельні середовища [25]. Для моделювання міграції ванадію були використані два середовища: нейтральна - дистильована вода і кисла - ацетатно-амонійний буфер з рН 4,8, що характерно для кислотних опадів. Результати показали, що ванадій мігрує з шлаку і його кількість перевищує ГДК навіть через 10 діб. В ході проведення експерименту було встановлено, що рухлива форма ванадію у водному середовищі, через добу переходить в малорозчинне з'єднання ванадат, яке осідає у вигляді суспензії.

В роботі [26] досліджувався рівень приземних концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі біля шлакового відвалу ПАТ «Металургійний комбінат імені Ілліча». Комп'ютерним моделюванням з урахуванням середніх метеорологічних умов регіону встановлено, що приземні концентрації за межами шлакового відвалу перевищують санітарні норми. Так, на відстані 500 м від центру відвалу значення максимальної приземної концентрації по зваженим часткам становить в східному, північному та західному напрямку 6,04 ГДК, в південному – 3,79 ГДК, а на відстані 1000 м значення приземної концентрації також більше 1,0 ГДК. Авторами також визначено, що за рахунок утилізації доменних шлаків на рівні 25 т/год призводить до скорочення викиду пилу в атмосферне повітря на 30,75 т.

Аналогічна ситуація із пиловим забрудненням повітря спостерігається на шлакових відвалах Кривбасу [27]. Проведені дослідження показали, що запиленість повітря на шлакових відвалах при швидкості вітру 3-5 м/с становлять 8-20 мг/м<sup>3</sup>, що в 4-10 разів перевищує ГДК для повітря робочих зон, при цьому середньодобова концентрація пилу, яка становить 0,15 мг/м<sup>3</sup>, досягається на відстані більшій 1000 м від відвалу, при розмірі санітарно захисної зони – 500 м, а

в ряді випадків на відстані близько 1500 м від шлакових відвалів – 2-4 мг/м<sup>3</sup>. Наведені результати, показали, що шлакові відвали є джерелом інтенсивного забруднення пилом повітря робочих зон підприємств та атмосферного повітря.

Геолого-екологічні дослідження стану грантів проводилися у м. Донецьк біля металургійного заводу «Донецьксталь – МЗ» [28]. В ґрунтах досліджуваної території визначались концентрації наступних елементів: кадмію, міді, нікелю, ртуті, свинцю, цинку, марганцю, заліза. Встановлено, що у південній частині території, в місці розміщення відвалів з відходів металургійного заводу, спостерігаються підвищені показники свинцю. Середній вміст кадмію перевищує фоновий вміст в 2,2 рази і має рівномірний розподіл у ґрунтах території дослідження. Геохімічні аномалії зосереджені в зоні впливу відвалів металургійного підприємства на півдні, у центрі, на території електросталеплавильного цеху, а також у західній частині, яка контролюється діяльністю мартенівського, доменного, обжимного цехів заводу.

Також відмічається деякими авторами [29], що 1 га відвалів металургійного підприємства веде до забруднення приблизно 5 га земель, що знаходяться поряд з відвалами, при цьому має місце також значне теплове забруднення довкілля. З точки зору забруднення земель, зона впливу металургійного підприємства на навколишнє середовище може мати радіус 1-5 км, де у ґрунті спостерігається значний вміст шкідливих речовин.

В роботі [30] наведені комплексні дослідження впливу на навколишнє середовище відвалу доменних шлаків і відвалу сталеплавильних шлаків ВАТ «Євраз НТМК». Вміст рухомих форм металів в пробах ґрунтів в зоні впливу шлакових відвалів по гумусовому горизонту перевищує значення ГДК по марганцю в 1,7-6,5 разів, по цинку від 1,4 рази, рухомих форм міді і хрому в ґрунтах не перевищують значень ГДК. У той же час, вмісту рухомих форм металів низькі, за винятком марганцю. Максимальні концентрації важких металів пов'язані, за думкою авторів, як з викидами ВАТ «Євраз НТМК» і виділенням пилу з поверхні шлакового відвалу, так і з застосуванням раніше матеріалу шлакового відвалу для відсіпання ґрунтової дороги.

Для визначення оцінки екологічної небезпеки шлакового щебню в Пермському національному дослідницькому політехнічному університеті були проведені дослідження емісій важких металів, що містяться в шлаку (ванадій, титан, марганець і залізо) [31]. Розрахунками встановлено, що через 30 діб частка екстрагованих металів з шлакового щебню склала для заліза – 9,6%, для марганцю – 4,9%, для титану – 2,5%, для ванадію – 0,27% відповідно, що свідчить про досить високу стійкість досліджуваних металів в структурі шлаку. Проведені дослідження показали, що в умовах Пермського краю, де переважають глинисті ґрунти, рН водної витяжки яких близька до нейтральної, можна чекати незначного впливу шлакового щебню на водні об'єкти і рекомендувати його для використання в якості матеріалу в дорожньому будівництві. Однак, застосовувати шлаковий щебень в агресивних середовищах слід з обережністю, передбачаючи заходи з охорони навколишнього середовища.

Як зазначається, розташування шлакових відвалів поблизу акваторій морів небезпечно тим, що мікроорганізми утворюють в шлакових відвалах сірководень, загальна кількість якого може перевищувати 20 м<sup>3</sup> на тонну шлаку. В основному утворюються сульфіди надзвичайно високої концентрації, які вимиваються дренажними водами, що призводить до найсильнішого забруднення. Кисень в воді витрачається на реакцію з сульфідами, вміст кисню в даних сульфідних водоймах стає рівним нулю і це призводить до загибелі живих організмів [32].

Проведений аналіз свідчить про те, що визначення характеру та ступеню впливу металургійних шлаків на довкілля слід виконувати для конкретних видів шлаків, адже вони різняться хімічним та мінералогічним складом й особливостями процесу металургійного виробництва. Для розробки ефективного способу утилізації шлаків слід виявити рівень забруднення ними довкілля шляхом проведення серії експериментальних досліджень впливу їх фільтратів на ґрунти та якість води.

Таким чином, накопичені в Україні значні обсяги шлаків чорної металургії з малонебезпечним рівнем впливу в разі їх зручного до споживачів географічного розташування здатні забезпечити будівельну промисловість та дорожнє будівництво дешевою сировиною, а в разі суттєвої віддаленості та ізольованості інфраструктури міст – потрібен пошук нових рішень з розробки еколого безпечних способів їх широкомасштабної утилізації.

**3. Висновки.** В результаті аналізу та узагальнення проблем накопичення й утилізації, а також потенційного впливу металургійних шлаків на довкілля виявлено ряд аспектів та особливостей:

- показано, що близько 10% всіх щорічних накопичень промислових відходів складають відходи переробної промисловості, з яких домінуюче значення з показником 70% займають відходи металургійного виробництва, 18% – відходи виробництва харчових продуктів, 4% – виробництво хімічних речовин і хімічної продукції;

- запропоновано за найбільш щільним розташуванням згрупувати відвали металургійних шлаків підприємств та виділити їх у 6 районів;

- виконано градацію районів-накопичувачів шлаків та встановити, що за обсягом запасів металургійних шлаків лідером є Запорізький район (300 млн т), а найбільш займані ділянки під відвалами шлаків Криворізького району – понад 1500 га землі;

- визначено, що вагомим впливовим та обмежуючим фактором розвитку ринку доменних гранульованих шлаків буде їх географічне розташування та віддаленість до споживачів й наявність розвиненої транспортної інфраструктури, адже транспортні витрати значно перевищують ринкову вартість 1 т металургійних шлаків;

- встановлено, що металургійні шлаки Запорізького, Криворізького, Придніпровського районів розташовані в найбільш зручнішому місцеположенні з позиції віддаленості та ізольованості до основних підприємств цементної галузі ніж металургійні шлаки Приазовського району;

– відзначено, що низький рівень утилізації металургійних шлаків в Україні обумовлений невдосконаленістю законодавчої бази, де шлаки фігурують як відходи, а не побочний продукт, що юридично обмежує їх використання з екологічної точки зору, відсутність дієвих механізмів стимулювань металургійних підприємств до цільового використання шлаків у різних галузях економіки;

– визначено на підставі аналізу досліджень попередніх науковців, що металургійні шлаки мають вплив на природне середовище, але його рівень може бути як і критичним, так і допустимим;

– рекомендовано для встановлення достовірного рівня забруднення основних компонентів природного середовища металургійними шлаками експериментально визначити вплив фільтратів шлакових відвалів на ґрунти та вплив шлаків на якість води при безпосередньому їх контакті.

#### Перелік посилань

1. Зигун, А.Ю. (2011). Використання світового досвіду системи управління відходами. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Теорія і практика будівництва*, (697), 122-126.
2. Копач, П.І., & Сердюк, Я.Я. (2011). Проблема зниження відходності господарських комплексів гірничо-металургійного регіону та шляхи її вирішення. *Екологія і природокористування*, (14), 161-177.
3. Bondarenko, V.I., Vivcharenko, A.V., & Yarkovych, A.I. (2013). New technique of coal mining very thin seams with leaving rock in mine. *Szkola Eksploatacji Podziemnej*, 75-81.
4. Боронос, В.Г., Шкарупа, О.В., & Коновалов, М.Г. (2016). Екологічна модернізація системи управління поводження з твердими побутовими відходами в Україні на основі досвіду ЄС та Норвегії. *Маркетинг і менеджмент інновацій*, (2), 222-234.
5. Галецкий, Л.С., & Егорова, Т.М. (2008). Региональный эколого-геохимический анализ влияния тяжелых металлов промышленных отходов на состояние окружающей среды Украины. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*, (5), 10-14.
6. *Статистичний збірник «Довкілля України» за 2010-2018 рік*. (2018). Державна служба статистики України.
7. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., & Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24-38.  
<https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
8. *Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році*. (2017). Київ: Міністерство екології та природних ресурсів України.
9. *State Fiscal Service of Ukraine*. (2018). Official Website. [online]. Retrieved from <http://sfs.gov.ua>
10. Shatokha, V. (2015). The sustainability of the iron and steel industries in Ukraine: challenges and opportunities. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 2(2), 106-115.  
<https://doi.org/10.1007/s40831-015-0036-2>
11. Тарасова, Т.В. (2013). Проблеми використання відходів як сировинних ресурсів для будівельних матеріалів. *Збірник наукових праць «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист»*, (6), 119-126.
12. Крюковська, Л.І. (2013). До еколого-економічної оцінки заміни природних матеріалів металургійними шлаками при будівництві доріг. *Вісник Національного транспортного університету*, (27), 359-364.
13. Калмыкова, Ю.С., Ларин, В.И., & Хоботова, Э.Б. (2016). Рациональные пути использования отвальных доменных шлаков. *Энергетика: экономика, технологии, экология*, (1), 44-50.



14. Алешин, А.А., Казачков, Е.А., & Остроушко, А.В. (2007). Повышение эффективности переработки твердых металлургических шлаков. *Вісник Приазовського державного технічного університету*, (17), 220-223.
15. Тарабрина, Л.А., Курган, Т.А., & Игнатьева, Н.С. (2000). Переработка сталеплавильных шлаков в ОАО «ММК». *Металлург*, (9), 26- 27.
16. Грабовчак, В.В., Куштим, А.І., & Кудрявец, Б.І. (2018). Паливні золи і шлаки, як основна сировина для виробництва цементів і бетонів на їх основі. *Проблеми розвитку міського середовища*, 1(20), 32-38.
17. Крюковська, Л.І., & Хрутьба, В.О. (2009). Використання металургійних шлаків у дорожньому будівництві як вирішення проблеми щодо їх утилізації. В *Матеріалах II Міжнародної наукової конференції студентів, магістрантів і аспірантів «Регіональні екологічні проблеми»* (с. 170). ОДЕКУ.
18. Петлеваний, М.В., Кузьменко, А.М., Горобец, Л.Ж, Прядко, Н.С., & Усатый, В.Ю. (2011). О механической активации компонентов твердеющей закладки для заполнения выработанного пространства рудников. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, (3), 75-78.
19. Filonenko, O. (2018). Sustainable development of Ukrainian iron and steel industry enterprises in regards to the bulk manufacturing waste recycling efficiency improvement. *Mining of Mineral Deposits*, 12(1), 115-122.  
<https://doi.org/10.15407/mining12.01.115>
20. Petlovanyi, M., & Filonenko, O. (2019). Problematic aspects and ways to increase the level of metallurgical slags disposal. *International Scientific Conference*  
<https://doi.org/10.30525/978-9934-588-13-6-17>
21. ДСанПіН 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення класу їх небезпеки для здоров'я населення. (1999). МОЗ України.
22. Борисовська, О.О., & Павличенко, А.В. (2017). Оцінка екологічної небезпеки золошлакових відходів теплоелектростанцій. *Геотехнічна механіка*, (134), 36-46.
23. Крюковська, Л.І. (2019). Підвищення рівня екологічної безпеки у дорожньому будівництві шляхом використання металургійних шлаків. Національний авіаційний університет.
24. Боранкулова, Г.С. (2010). Экологическая оценка твердых отходов металлургического производства. *Гидрометеорология и экология*, (2), 83-87.
25. Пугин, К.Г., & Вайсман, Я.И. (2013). Методические подходы к разработке и идентификации наилучших доступных технологий на примере использования шлаков черной металлургии. *Вестник МГСУ*, (10), 183-195.
26. Хоботова, Э.Б., & Калмыкова, Ю.С. (2017). Сокращение уровня экологической опасности при утилизации шлака. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*, (76), 46-50.
27. Тишук, В.Ю., & Плотников, О.В. (2015). Фізико-хімічні основи пилоутворення і пилоподавлення на шлакових відвалах металургійних підприємств. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (49), 231-239.
28. Волкова, Т.П., & Сніжок, І.С. (2012). Аналіз та оцінка впливу металургійних підприємств на забруднення ґрунтів Донецької області. *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна»*, 16(206), 73-78.
29. Фещенко, О.Л., & Каменева, Н.В. (2016). Оцінка впливу діяльності металургійних підприємств на навколишнє природне середовище України. *Інвестиції: практика та досвід*, (2), 28-32.
30. Захаров, А.В., Гуман, О.М., Макаров, А.Б., Антонова, И.А., & Ли, Т.И. (2014). Экологическое состояние окружающей среды отвалов черной металлургии (по результатам мониторинга шлакового отвала НТМК). *Известия Уральского государственного горного университета*, 3(35), 51-56.

31. Брызгалов, С.В. (2009). *Снижение негативного воздействия доменных шлаков при их утилизации на объекты гидросферы*. Пермский государственный технический университет.
32. Дан, Е.Л., Бутенко, Э.О., & Капустин, А.Е. (2018). Сульфидные загрязнения поверхностных вод промышленными отходами. *Вісник Приазовського державного технічного університету*, (37), 217-224.  
<https://doi.org/10.31498/2225-6733.37.2018.160416>

### АННОТАЦИЯ

**Цель.** Анализ и обобщение особенностей накопления и использования, а также потенциального влияния металлургических шлаков на природную окружающую среду как первоочередная составляющая решения проблемы масштабности их утилизации.

**Методика исследований.** Для достижения поставленной цели использован комплексный методический подход, включающий: анализ данных государственной статистики образования отходов; анализа национальной и региональной докладов о состоянии окружающей среды; анализ транспортных развязок регионов-накопителей шлаков; анализ научных работ по влиянию шлаков на окружающую среду.

**Результаты исследований.** Показаны отраслевые источники накоплений промышленных отходов, среди которых потенциально высоким уровнем утилизации обладают шлаки. Предложено отвалы металлургических шлаков по плотности расположения выделить их в 6 районов. Выполнена градация районов-накопителей шлаков по объему и наиболее занимаемым площадям. Выделены значимые влиятельные и ограничивающие факторы развития рынка шлаков. Определено на основе анализа исследований, что шлаки влияют на природную среду, но уровень влияния может быть как критическим, так и допустимым. Рекомендуется для установления достоверного уровня загрязнения окружающей среды металлургическими шлаками экспериментально определить влияние отвалов на почвы и качество воды при непосредственном их контакте.

**Научная новизна.** Выдвинуто предположение, что для транспортно и экономически изолированных условий размещения накоплений металлургических шлаков поиск новых способов их широкомасштабной утилизации в прилегающей местности должен основываться на экспериментальном доказательстве их экологической безопасности для окружающей среды.

**Практическое значение.** Выполнено районирование и градация накоплений металлургических шлаков по плотности расположения, размерам накопления и занимаемыми площадями. Выделен ряд полезных аспектов и особенностей для решения проблемы утилизации шлаков.

**Ключевые слова:** *промышленные отходы, металлургические шлаки, утилизация, природную окружающую среду.*

### ABSTRACT

**Purpose.** Analysis and generalization of the features of accumulation and use, as well as the potential impact of metallurgical slag on the environment as a priority component of solving the problem of the scale of their disposal.

**Methodology.** To achieve this purpose, a comprehensive methodological approach was used, including: analysis of data from state statistics on waste generation; analysis of national and regional environmental reports; analysis of transport interchanges of slag storage regions; analysis of scientific papers on the impact of slag on the environment.

**Results.** Industry sources of industrial waste accumulation, among which slags have a potentially high level of utilization are shown. To dump metallurgical slag according to the density of their location in 6 regions it is proposed. Graduation of slag storage areas by volume and most occupied areas has been performed. Significant influential and limiting factors of the development of the slag market are identified. On the basis of research analysis that slags affect the environment, but the level of influence can be both critical and acceptable it is determined. To establish a reliable level of environmental pollution by metallurgical slags, it is recommended to experimentally determine the effect of dumps on soils and water quality during their direct contact.

**Original.** For transport and economically isolated conditions for the location of accumulations of metallurgical slag, the search for new methods for their large-scale utilization in the surrounding area should be based on experimental evidence of their environmental safety it has been suggested.

**Practical implications.** The zoning and gradation of accumulations of metallurgical slag by density of location, size of accumulation and occupied space has been performed. A useful aspects and features for solving the problem of slag disposal have been identified.

**Key words:** *industrial wastes, metallurgical slags, utilization, environment.*