

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2026-64-32>

УДК 574.64:504.064

Комплексне дослідження небезпечних властивостей нафтовмісних відходів Н14

Олексій Крайнюков¹,  <https://orcid.org/0000-0002-5264-3118>, e-mail: kraynukov@karazin.ua

д. геогр. н., професор, кафедра екології та менеджменту довкілля

Іветта Кривицька¹,  <https://orcid.org/0009-0004-9543-7076>, e-mail: ivkrivicka@gmail.com

к. біол. н., доцент, кафедра зоології та екології тварин

Валентина Самохвалова²,  <https://orcid.org/0000-0003-1352-9838>, e-mail: v.samokhvalova.com@gmail.com

к. с.-г. н., ст. наук. співробітник, відділ охорони ґрунтів

Максим Проненко¹,  <https://orcid.org/0009-0003-9975-3722>, e-mail: maksym.pronenko@karazin.ua

аспірант, кафедра екології та менеджменту довкілля

¹ Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна

² ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

АНОТАЦІЯ

У статті розглянуто сучасні підходи до визначення небезпечної властивості відходів НР14 «екотоксичність» відповідно до вимог європейського законодавства та національних нормативних документів. Проаналізовано обмеження традиційної хімічної класифікації відходів, що базується на визначенні концентрацій окремих токсичних компонентів, зокрема у випадку складних багатокомпонентних матриць, таких як бурові шлами. Обґрунтовано доцільність поєднання фізико-хімічних методів аналізу з біотестуванням для більш об'єктивної оцінки потенційної екологічної небезпеки відходів. Експериментальні дослідження проведено на зразках бурових шламів із залишками бурового розчину, відібраних на свердловинах №150 та №152 Великобунівського родовища (Сумська область). Виконано комплексну оцінку відходів за результатами санітарно-хімічних досліджень, визначено фізико-хімічні показники та вміст важких металів. За результатами хімічної оцінки сумарний вміст токсичних компонентів не перевищував встановлених нормативних порогів, що дозволило попередньо класифікувати відходи як такі, що не мають небезпечної властивості НР14. Подальше біотестування водних витяжок із використанням тест-організмів *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg показало наявність хронічної токсичності та віднесення відходів до 4 класу якості водних витяжок, що відповідає високому рівню екотоксичності (Н410 – дуже токсично для водних організмів із довготривалими наслідками). Встановлено суттєву розбіжність між результатами хімічного аналізу та біологічною реакцією тест-організмів, що пояснюється комбінованою дією компонентів, біодоступністю токсикантів, наявністю неврахованих сполук та трансформацією речовин у водному середовищі. Отримані результати підтверджують необхідність обов'язкового застосування біотестування при класифікації відходів за показником екотоксичності та доцільність удосконалення підходів до оцінки небезпечних властивостей складних промислових відходів.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ :

Рукопис надійшов
30 березня 2026

Отримано після рецензування
5 травня 2026

Затверджено до друку
25 травня 2026

Опубліковано онлайн
30 травня 2026

Ключові слова :

екотоксичність; бурові шлами; відходи буріння; біотестування; НР14; нафтовмісні відходи; екологічний ризик; класифікація відходів.

Вступ

Регламент Ради (ЄС) 2017/997 щодо небезпечної властивості НР 14 «екотоксичність» визначає основні критерії оцінки екотоксичності відходів.

Відходи класифікуються як «екотоксичні», якщо вони створюють або потенційно можуть

створювати негайну чи відкладену загрозу для одного або декількох компонентів навколишнього природного середовища.

Основним підходом до хімічної класифікації відходів є так званий традиційний метод, який полягає у визначенні концентрацій речовин, віднесених до категорії екотоксичних відповідно до Регламенту (ЄС) № 1272/2008

Як цитувати :

ХКрайнюков Олексій, Кривицька Іветта, Самохвалова Валентина, Проненко Максим (2026). Комплексне дослідження небезпечних властивостей нафтовмісних відходів Н14. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (64), 415–423. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2026-64-32>



© Олексій Крайнюков, Іветта Кривицька, Валентина Самохвалова, Максим Проненко, 2026
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

(CLP – Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures). Розрахунок виконується із застосуванням спеціальних формул і встановлених порогових значень концентрацій, що дозволяє визначити рівень небезпечності суміші за принципом методу підсумовування.

Властивість HP14 також можна визначити шляхом проведення експериментальних випробувань на токсичність, процедури яких описані в Європейському регламенті 440/2008/ЄС або в «інших міжнародно визнаних методах та рекомендаціях щодо випробувань» (Регламент Ради 2017/997). У цьому випадку пріоритет надається екотоксикологічній класифікації над хімічною, але оскільки результати біологічних аналізів сильно залежать від підготовки зразків, досліджуваних організмів та прийнятих токсичних порогів (Частина 4, Додаток I, Європейський регламент 2008/1272/ЄС), суворе застосування фактичних нормативів викликає кілька проблем, пов'язаних не лише з методологічними процедурами, але й з інтерпретацією даних, що ускладнює порівняння результатів та класифікацію, особливо під час випробувань складних відходів та невизначених матриць [1].

Як звичайні, так і експериментальні методології на основі CLP розроблені для класифікації небезпечних речовин та сумішей відомих сполук, тоді як детальний хімічний склад відходів, як правило, невідомий. Таким чином, сукупний вплив на навколишнє середовище суміші забруднюючих речовин, що зазвичай присутні в більшості категорій відходів, недооцінюється. Тому класифікація базується на кодах безпеки компонентів, які, як вважається, присутні в їхніх найбільш токсичних формах, відповідно до принципу «оцінки найгіршого випадку», що призводить до обережної практики управління, яка часто є нездійсненною та/або не є необхідною.

Для визначення екологічної безпеки відходів згідно з критеріями CLP необхідно порівнювати результати екотоксикологічних випробувань із стандартами якості навколишнього середовища (EQS) та встановленими хімічними граничними значеннями для небезпечних речовин. Такий підхід дозволяє оцінити як короткострокові, так і довгострокові ризики, що можуть виникати внаслідок впливу відходів на довкілля. Водночас, для класифікації небезпечної властивості HP 14 («Екотоксичність») розмежування між гострою та хронічною токсичністю не є обов'язковим критерієм.

Крім того, результати екотоксикологічних досліджень можуть бути співставлені з пороговими значеннями водної токсичності, наведеними в Регламенті CLP, лише за умови, що біотестування проведене відповідно до методики водонакопичуваної фракції (WAF), описаної в

рекомендаціях OECD 23/2000.

Згідно з цими вимогами, під час аналізу використовують малі проби відходів (1, 10, 100 мг), які, однак, не можуть повною мірою відображати властивості всієї партії зразка через його гетерогенний склад. Однією з основних умов є забезпечення повторюваності та відтворюваності результатів.

З огляду на це, слід розробити новий та адаптований підхід для стандартизованої класифікації відходів, який би став основою для екологічно сумісного управління з точки зору оцінки безпеки. Процедура, описана у стандарті EN14735:2005, рекомендує використовувати елюати відходів для оцінки екотоксикологічних властивостей, що дозволяє отримати результати, що відповідають класифікації, зазначеній у Європейському переліку відходів, як показано [2].

Зі стрімким розвитком промисловості та постійним зростанням потреб людства у паливно-енергетичних ресурсах роль нафтопродуктів в сучасній економіці залишається надзвичайно важливою. За оцінками фахівців, щороку у світі споживаються мільярди тонн сирової нафти, і обсяги її використання продовжують зростати. Водночас на всіх етапах її життєвого циклу – від видобутку й транспортування до зберігання та переробки – утворюється значна кількість нафтовмісних шламів та інших відходів [3, 4].

Особливо гостро ця проблема проявляється у країнах із розвинутою нафтогазовою промисловістю. Так, у Китаї щорічно утворюється понад 6 мільйонів тонн нафтовмісних шламів, що становить більше 10 % їх світового обсягу [5]. Такі відходи містять значну кількість залишкових нафтових вуглеводнів, а також токсичні органічні сполуки, зокрема бензольного ряду, які здатні негативно впливати на стан ґрунтів, поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря та живих організмів [6, 7]. Саме тому пошук ефективних і екологічно безпечних методів їх переробки та утилізації є одним із пріоритетних напрямів сучасних наукових досліджень як у усьому світі, так і в Україні.

Склад нафтовмісного шламу надзвичайно складний та різноманітний, з сильними токсичними характеристиками, що становлять значну загрозу для екосистем. Після потрапляння в природне середовище шлам, що містить нафтопродукти може спричинити серйозні наслідки забруднення екосистем [8]. Для вирішення проблем забруднення навколишнього середовища, спричинених нафтовмісним шламом, сучасні заходи очищення в першу чергу зосереджені на таких підходах: технологія піролізу, мікробна ремедіація, нешкідлива обробка на основі коксування, технологія термічного промивання-імобілізації [9] та технологія

екстракції розчинниками [10-13]. Серед них технологія піролізу вважається дуже перспективною завдяки високій ефективності вилучення сирої нафти та газу, відносно низькому негативному впливу на навколишнє середовище та ретельному очищенню забруднюючих речовин. Отже, вона стала основним методом боротьби із забрудненням нафтовмісним шламом [14, 15]. Піроліз нафтовмісного шламу призводить до утворення залишків піролізного нафтовмісного шламу, який стає основним твердим відходом. В останні роки дослідження щодо використання ресурсів залишків піролізного нафтовмісного шламу зростають на міжнародному рівні, причому обробка затвердінням стала переважним методом обробки таких залишків. Зокрема, обробка затвердінням включає змішування матеріалів, що затвердівають, із залишками нафтогазових шламів, доповнених відповідними добавками, для сприяння складним фізико-хімічним реакціям. Це прискорює утворення твердої речовини, іммобілізуючи токсичні та шкідливі компоненти для зменшення екологічної небезпеки. Після затвердіння нафтогазовий шлам може бути перетворений на затверділі блоки певної міцності, які можна безпосередньо використовувати для приготування фундаментних матеріалів будівель, безпечно захоронювати на звалищах або навіть застосовувати в інженерних проектах, таких як дорожнє покриття [16].

Існує кілька підходів до характеристики токсичності відходів і різних видів продукції. Один із найпоширеніших методів ґрунтується на хімічному аналізі, що передбачає визначення концентрацій окремих забруднювальних речовин – так звану оцінку елементного складу.

Однак аналіз біодоступних елементів і органічних забруднювачів у зразках зі складним або невідомим хімічним складом є значно складнішим завданням. Для виділення та концентрування органічних сполук, які зазвичай присутні у дуже низьких концентраціях, необхідно застосовувати кілька етапів екстракції з використанням різних методик.

Складність суттєво зростає, коли йдеться про комплексні матриці, такі як осади стічних вод, ґрунти чи компости, де присутні численні взаємодіючі компоненти.

Звичайні хімічні методи аналізу в таких випадках мають обмежені можливості, оскільки отримані дані не завжди адекватно відображають реальний екотоксикологічний потенціал зразка. Це може призвести до помилкової оцінки токсичності, адже хімічні взаємодії між сполуками та їхній сукупний вплив на навколишнє середовище часто залишаються поза межами виявлення традиційних методів [17].

Ефективна оцінка небезпечних властивостей відходів має базуватися на поєднанні хіміч-

них і біологічних методів аналізу, що забезпечить більш повне уявлення про потенційний екологічний ризик. У випадках, коли визначення всього спектра небезпечних хімічних речовин або стійких органічних забруднювачів у складі відходів є неможливим чи обмеженим, доцільно застосовувати виключно метод біотестування, який дозволяє безпосередньо оцінити сумарний токсичний ефект відходів на біоту.

Результати, отримані при дослідженні токсичних властивостей різних типів бурових шламів та присвоєння їм відповідних Н-кодів на основі цих даних підтверджують доцільність і необхідність впровадження методу біотестування у систему класифікації відходів [18].

Мета. У цьому дослідженні проведено опрацювання інноваційної процедури з визначення небезпечних властивостей відходів НР14, що містять нафтові сполуки.

Методи

З метою визначення небезпечних властивостей відходів буріння - бурових шламів з залишками бурового розчину, що утворилися на свердловинах №№ 150 та 152 Великобубнівського родовища, Сумська область та їх класифікації була проведена комплексна оцінка відходів за результатами санітарно-хімічних досліджень з урахуванням токсикологічних характеристик складових відходів та їх біотестування. Дослідження було проведено відповідно до Додатку 3 Закону України «Про управління відходами» та Порядку класифікації відходів, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 20.10.2023 р. №1102.

Експериментальні дослідження небезпечних властивостей відходів було проведено у грудні 2025 року в лабораторії еколого-токсикологічних досліджень ННІ екології, зеленої енергетики та сталого розвитку.

Лабораторія еколого-токсикологічних досліджень ННІ екології, зеленої енергетики та сталого розвитку за результатами аудиту ДП «Харківстандартметрологія» відповідає вимогам ДСТУ ISO 10012:2005 на проведення вимірювань токсичності методом біотестування у сфері поширення державного метрологічного нагляду (свідоцтво про відповідність системи вимірювань ДСТУ ISO 10012:2005 № 01-0132/2025 від 04 грудня 2025 р., чинно до 05 грудня 2028 року).

Результати. На першому етапі дослідження для експериментів були відібрано бурові шлами з двох свердловин, що дало змогу врахувати варіації компонентного складу та можливі відмінності у рівнях токсичної дії на тестові організми під час біотестування.

Проба відходів буріння – бурові шлами з залишками бурового розчину за візуальним ог-

Таблиця 1 / Table 1

Фізико-хімічні показники зразків відходів буріння – бурових шламів з залишками бурового розчину, які було відібрано з ємності для зберігання відходів на свердловинах №№ 150, 152 Великобубнівського родовища / Physicochemical parameters of drilling waste samples – drilling sludge with residual drilling fluid – collected from waste storage tanks at wells No. 150 and 152 of the Velykobubnyske oil field

Назва проби	pH, абс.од.	% вологості	Вміст органічної складової, %	Вміст мінеральної складової, %	Вміст SiO ₂ , %	Вміст CaO, %	Вміст MgO, %	Вміст нафто-продуктів, %
№150	11,0	40,0	9,59	90,41	59,99	25,6	4,81	0,099
№152	10,0	44,0	10,5	86,60	57,85	24,5	4,25	0,086

Таблиця 2 / Table 2

Вміст важких металів у відходах буріння – бурових шламах з залишками бурового розчину, відібраних з ємності для зберігання відходів на свердловинах №№. 150, 152 Великобубнівського родовища / Content of heavy metals in drilling waste – drilling sludge with residual drilling fluid – collected from waste storage tanks at wells No. 150 and 152 of the Velykobubnyske oil field

Назва проби	Вміст важких металів та інших компонентів, мг/кг									
	Pb	Cu	Ni	Cr	Co	Cd	Zn	Mn	Fe	Al
№150	1,72	26,83	9,04	12,30	3,2	2,36	62,21	274,64	1760,0	1112,14
№152	1,56	27,65	12,06	11,30	5,32	3,65	75,98	290,32	2000,12	1121,52

лядом – волога пастоподібна маса світло-сірого кольору, без специфічного запаху.

Результати фізико-хімічних досліджень відходів буріння подано у таблиці 1 та результати визначення вмісту важких металів у відходах буріння наведено у таблиці 2.

Згідно з результатами проведених досліджень (табл. 1, 2) відходів з свердловини №150 Великобубнівського родовища, сумарна концентрація мінеральних речовин складає 90,41 %, з них сумарна концентрація токсичних речовин I класу (Pb, Cd, Cr) не досягала порогових значень та складала – 0,001638 < 0,1, речовин II класу (Cu, Mn, Ni, Co) не досягала порогових значень та складала – 0,031371 % < 0,25 %, хімічних речовин III класу (Zn, Fe) – 0,18222 < 5 %, IV класу токсичності (Si, Mg, Ca, Al) – 90,19 % - речовини, які не завдають гострої токсичності при пероральному надходженні в організм [21].

Таким чином, за результатами досліджень встановлено, що бурові шлами з залишками бурового розчину, відібрані з ємності для зберігання відходів свердловини №150 Великобубнівського родовища, є вологою пастоподібною субстанцією з вмістом лужних сполук металів (pH – 11,0 одиниць активності); сумарна концентрація токсикантів I, II, III і IV класів токсичності, визначених за ознаками небезпечного впливу складових бурових шламів з залишками бурового розчину при пероральному надходженні в організм значно менша за лімі-

ти концентрацій небезпечного впливу відповідних категорій небезпеки.

Відповідно до результатів (табл. 1, 2) проведених експериментальних досліджень відходів зі свердловини № 152 Великобубнівського родовища встановлено, що сумарний вміст мінеральних компонентів становить 86,60 %. Серед них концентрація токсичних елементів I класу небезпеки (Pb, Cd, Cr) є нижчою за порогові значення та становить 0,0016575,98 % < 0,1 %. Рівень речовин II класу (Cu, Mn, Ni, Co) також не перевищує нормативних лімітів і дорівнює 0,0335 % < 0,25 %.

Вміст хімічних елементів III класу (Zn, Fe) становить 0,207 % < 5 %, а речовини IV класу токсичності, мінеральна основа - (Si, Mg, Ca) утворюють основну частину складу – 86,60 %, що свідчить про відсутність гострої токсичної дії при пероральному надходженні в організм [21].

Відповідно до результатів санітарно-хімічного аналізу бурові шлами зі свердловини № 152, які було відібрано з ємності зберігання відходів, являють собою волого-пастоподібну субстанцію з підвищеною лужністю (pH = 10,0), обумовленою наявністю лужних сполук металів. Сумарна концентрація токсикантів I–IV класів токсичності, визначених за показниками потенційного небезпечного впливу складових бурових шламів при пероральному надходженні в організм, є суттєво нижчою за граничні концентрації, встановлені для відповідних категорій небезпеки.

Виходячи з отриманих результатів можна констатувати, що сумарна масова частка у обох зразків відходів, речовин I–III класів токсичності була менша за 25 %, тобто відходи не мали властивості «екотоксичність» (НВ14) і вважаються за Порядком класифікації відходів – як відходи «не небезпечні».

Такий первинний висновок ми зробили виходячи з результатів фізико-хімічних досліджень, які на нашу думку не повністю характеризують можливий негативний вплив бурових шламів на біологічні системи, зважаючи на те, що «токсичні властивості - це здатність речовини або чинника викликати шкідливий вплив на живі організми» і визначення таких властивостей необхідно проводити за допомогою живих тест-систем.

Відповідно до [20, 22] за екотоксичністю класифікують відходи як небезпечні, якщо вони відповідають наступним умовам: відходи, що містять одну або кілька речовин, класифікованих як хронічно токсичні для водних біоресурсів та віднесені до кодів Н410, Н411 або Н412.

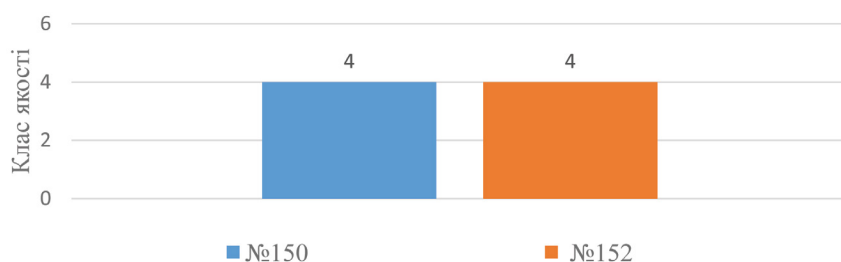


Рис. 1. Результати визначення класу якості водних витяжок з бурових шламів, які було відібрано з ємностей для зберігання відходів на свердловинах №№ 150, 152 Великобубнівського родовища /

Fig. 1. Results of determining the quality class of aqueous extracts from drilling sludge sampled from waste storage tanks at wells No. 150 and 152 of the Velykobubnivske oil field

- Н410: Дуже отруйно для водяних організмів, із тривалими наслідками;
- Н411: Отруйно для водяних організмів, із тривалими наслідками;
- Н412: Шкідливо для водяних організмів, із тривалими наслідками.

Для підтвердження чи спростування розбіжності між фізико-хімічною оцінкою та біологічною реакцією на наступному етапі досліджень було проведено серію експериментів задля визначення токсичних властивостей відходів, які було відібрано з ємностей для зберігання відходів з свердловин №№ 150, 152 Великобубнівського родовища.

У ході проведення дослідження було застосовано методику з визначення хронічної токсичності хімічних речовин та відходів із використанням тест-організмів – ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Критерієм виявлення хронічної токсичності досліджуваних зразків вважалося статистично достовірне зниження рівня виживаності та/або плодючості *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg у дослідних сері-

ях порівняно з контролем протягом усього періоду біотестування. Тривалість експерименту становила близько 7 діб або до моменту, коли у 80 % особин контрольної групи відбувалося народження трьох пометів [23].

В результаті проведеного біотестування встановлено (рис. 1), що зразки бурових шламів відповідають 4 класу якості (ступінь забрудненості водної витяжки – брудна). Такі результати дають змогу зафіксувати небезпечні властивості відходів та віднесення їх до Н410: Дуже отруйно для водяних організмів, із тривалими наслідками.

Дискусія

Виходячи з отриманих результатів, встановлено суттєву розбіжність між оцінкою за хімічним складом і біологічною реакцією. Причини такої розбіжності можуть бути наступні:

- сумісна дія речовин: навіть при низьких концентраціях кілька різних сполук разом можуть чинити значний токсичний ефект;

- наявність неврахованих компонентів у складі відходів: хімічний аналіз охоплює лише визначені (відомі) речовини, а відходи часто містять «невидимі» домішки – полімери, органічні залишки, ПАР тощо;

- різна біодоступність: деякі хімічні сполуки можуть утворювати рухомі, легкорозчинні форми, які активно поглинаються біотою, хоча їх загальна масова частка мала;

- зміна форми хімічних сумішей у водному середовищі: при контакті з водою чи киснем можуть утворюватися токсичні оксидні або іонні форми (наприклад, Cr (VI) із Cr (III)).

Якщо результати біотестування свідчать про токсичність, навіть за низьких концентрацій токсикантів, відходи будуть вважатися небезпечними за ознакою НВ14 «екотоксичність», що закріплено у Порядку класифікації відходів (Постанова КМУ №1102 від 20.10.2023 р.) та Регламенті ЄС 2017/997.

За таких обставин відходи мають бути тимчасово віднесені до небезпечних до уточнення результатів, а саме:

- проводиться повторне або розширене біотестування (з іншим тест-об'єктом – водоростями, рибами);
- виконується додатковий хімічний аналіз (на органічні токсиканти, феноли, ПАР, поліароматичні вуглеводні);
- при повторному підтвердженні токсичності – класифікуються як небезпечні за властивістю НВ14.

Отримані результати узгоджуються з висновками наведеними у роботі [2], де зазначається, що класифікація небезпечної властивості HP14, заснована виключно на визначенні концентрацій окремих токсичних компонентів, не завжди відображає реальний рівень екологічної небезпеки відходів. Автор підкреслює, що застосування екотоксикологічних тестів дозволяє врахувати сукупний вплив складних багатокомпонентних сумішей та підвищує достовірність оцінки екотоксичності.

Подібні результати отримані також у роботі [1], де встановлено, що біотестування елюатів відходів із використанням біологічних тест-систем виявляє токсичний ефект навіть у тих випадках, коли концентрації окремих забруднювачів не перевищують нормативних значень. Це свідчить про важливу роль синергетичної дії компонентів суміші та необхідність комплексної оцінки екологічного ризику.

Крім того, результати проведеного дослідження узгоджуються з попередніми роботами Крайнюкова та співавторів [18], у яких було показано, що використання методу біотестування дозволяє більш об'єктивно оцінювати небезпечні властивості промислових відходів і виявляти приховану екотоксичність, яка не визначається традиційними фізико-хімічними методами аналізу. Отримані дані підтверджують доцільність впровадження інтегрованого підходу, що поєднує результати хімічного аналізу з біологічними дослідженнями, для підвищення достовірності класифікації відходів за властивістю HP14.

Отримані результати узгоджуються з дослідженнями українських науковців, присвячених застосуванню біотестування у системі екологічного моніторингу. Так, Д. М. Саламатін та С. В. Дігтяр [24] встановили, що використання тест-організмів *Daphnia magna* дозволяє виявляти токсичну дію природних, поверхневих та промислових стічних вод навіть у випадках, коли результати традиційного фізико-хімічного аналізу не свід-

чать про суттєве перевищення нормативних показників. Автори наголошують, що біотестування є важливим інструментом інтегральної оцінки якості довкілля та доцільно доповнює стандартні методи екологічного контролю.

Висновки

1. Результати дослідження свідчать, що класифікація відходів буріння лише за фізико-хімічними показниками може не відображати їх реальний екотоксикологічний потенціал. Незважаючи на те, що концентрації токсичних компонентів у досліджених бурових шламах не перевищували встановлених нормативних порогів, біотестування водних витяжок із використанням тест-організмів *Ceriodaphnia affinis* виявило прояви хронічної токсичності. Це підтверджує наявність небезпечної властивості HP14 («екотоксичність») та демонструє суттєву розбіжність між результатами хімічного аналізу і біологічною реакцією тест-систем.

2. Ймовірними причинами такої невідповідності є сумарна дія кількох забруднювачів, наявність неврахованих компонентів складної матриці відходів, відмінності у біодоступності токсикантів і можливі трансформації хімічних сполук у водному середовищі. Це підкреслює необхідність використання інтегрованого підходу до оцінки небезпечних властивостей відходів, який поєднує хімічні методи аналізу з біотестуванням.

3. Застосування біоіндикаційних методів дозволяє більш об'єктивно оцінювати екологічний ризик, своєчасно ідентифікувати потенційно небезпечні відходи та забезпечувати екологічно безпечне управління ними. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження стандартизованих процедур біотестування у систему класифікації відходів відповідно до сучасних європейських і національних нормативних вимог.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Конфлікт інтересів: автори засвідчують, що, незважаючи на те, що один із авторів статті є членом редакційної колегії цього журналу, процес рецензування, прийняття рішення щодо публікації та редагування проводилися незалежно, без його участі чи впливу. Будь-які потенційні конфлікти інтересів були повністю усунені шляхом зовнішнього контролю процесу.

Декларація про використання генеративного штучного інтелекту: Автори використовували інструменти генеративного штучного інтелекту (GenAI) для допоміжної роботи: моделі ChatGPT-5.5 (OpenAI, 2026) виключно як допоміжний інструмент для мовного редагування та під час оформлення списку використаних джерел. Усі результати роботи з цими інструментами були ретельно контрольовані, перевірені та, за необхідності, відредаговані авторами. Весь науковий контент, матеріали та висновки були створені авторами. Автори несуть повну відповідальність за зміст та цілісність публікації.

Author Contributions: All authors contributed equally to this work

Conflict of Interest: The authors certifies that, although one of the authors of the article is a member of the editorial board of this journal, the peer review, publication decision, and editorial processes were conducted independently, without their participation or influence. Any potential conflicts of interest were fully mitigated through external oversight of the process.

Declaration of use of generative artificial intelligence: The authors utilized generative artificial intelligence (GenAI) tools in a supportive capacity: the ChatGPT-5.5 model (OpenAI, 2026) was used exclusively as an auxiliary tool for language editing and when compiling a list of used sources. All outputs from these tools were carefully supervised, reviewed, and, where necessary, edited by the authors. All scientific content, materials, and conclusions were created by the authors. The authors retain full responsibility for the content and integrity of the publication.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

REFERENCES

1. Pivato, A., Gaspari, L. (2006). Acute toxicity test of leachates from traditional and sustainable landfills using luminescent bacteria. *Waste Management*, 26(10), 1148-1155. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.10.008>.
2. Hennebert, P. (2018). Proposal of concentration limits for determining the hazard property HP 14 for waste using ecotoxicological tests. *Waste Management*, 74, 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.048>.
3. Gan, Z., Zhao, C., Li, Y., Chen, G., Song, Z., Zhang, Z., Ran, W. (2022). Experimental investigation on smoldering combustion for oil sludge treatment: influence of key parameters and product analysis. *Fuel*, 316, 123354. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123354>.
4. Tahhan, R.A., Ammari, T.G., Goussous, S.J., Al-Shdaifat, H.I. (2011). Enhancing the biodegradation of total petroleum hydrocarbons in oily sludge by a modified bioaugmentation strategy. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 65 (1), 130-134. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.09.007>.
5. Huang, Y., Han, D. (2022). Analysis of China's oil trade pattern and structural security assessment from 2017 to 2021. *Chem. Technol. Fuels Oils*, 58 (1), 146-156. <https://doi.org/10.1007/s10553-022-01362-y>.
6. Hu, G., Li, J., Zeng, G. (2013). Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: a review. *J. Hazard. Mater.*, 261, 470-490. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.069>.
7. Moses, H., Odigire, J.O., Otaru, A.J., Oduoza, C.F. (2023). A potential remediation of total petroleum hydrocarbon from contaminated soils using surfactant suspended multiwall carbon nanotubes. *Results Eng.*, 19, 101371. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101371>.
8. Aziz, Z.S., Jazza, S.H., Dageem, H.N., Banoon, S.R., Balboul, B.A., Abdelzaher, M.A. (2024). Bacterial biodegradation of oil-contaminated soil for pollutant abatement contributing to achieve sustainable development goals: a comprehensive review. *Results Eng.*, 22, 102083. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102083>.
9. Karamalidis, A.K., Voudrias, E.A. (2007). Cement-based stabilization/solidification of oil refinery sludge: leaching behavior of alkanes and PAHs. *J. Hazard. Mater.*, 148 (1), 122-135. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.02.032>.
10. Liu, J., Jiang, X., Zhou, L., Han, X., Cui, Z. (2009). Pyrolysis treatment of oil sludge and model-free kinetics analysis. *J. Hazard. Mater.*, 161 (2), 1208-1215. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.072>.
11. Mater, L., Sperb, R.M., Madureira, L.A.S., Rosin, A.P., Correa, A.X.R., Radetski, C.M. (2006). Proposal of a sequential treatment methodology for the safe reuse of oil sludge-contaminated soil. *J. Hazard. Mater.*, 136 (3), 967-971. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.01.041>.
12. Roldán-Carrillo, T., Castorena-Cortés, G., Zapata-Peñasco, I., Reyes-Avila, J., Olguín-Lora, P. (2012). Aerobic biodegradation of sludge with high hydrocarbon content generated by a Mexican natural gas processing facility. *J. Env. Manage*, 95, 93-98. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.04.014>.
13. Zubaidy, E.A.H., Abouelnasr, D.M. (2010). Fuel recovery from waste oily sludge using solvent extraction. *Process Saf. Environ. Prot.*, 88 (5), 318-326. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2010.04.001>.
14. Liu, C., Li, Y., Fan, D., Zhu, P., Liu, Y., Chao, L., Zhou, C., Yao, B., Zhang, Y., Dai, J. (2025). In situ catalytic pyrolysis of oily sludge using coal gangue char to produce naphthalene-rich oil and hydrogen-rich gas. *Chem. Eng. J.*, 508, 160953. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.160953>.
15. Cheng, S., Wang, Y., Fumitake, T., Kouji, T., Li, A., Kunio, Y. (2017). Effect of steam and oil sludge ash additive on the products of oil sludge pyrolysis. *Appl. Energy*, 185, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.055>.
16. Ran, W., Zhu, H., Shen, X., Zhang, Y. (2022). Rheological properties of asphalt mortar with silane coupling agent modified oil sludge pyrolysis residue. *Constr. Build. Mater.*, 329, 127057. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127057>.
17. Krainiukov, O. M., & Shchokina, M. (2025). Application of biological early warning systems: implementing a prospective approach to water quality monitoring. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (33), 188-198. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-33-13>.
18. Крайнюков, О.М., Кривицька, І.А., Найдюнова, О.Є., Лукаш, М.С., Лукаш, К.М. (2024). Впровадження методу біотестування задля
1. Pivato, A., Gaspari, L. (2006). Acute toxicity test of leachates from traditional and sustainable landfills using luminescent bacteria. *Waste Management*, 26(10), 1148-1155. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.10.008>.
2. Hennebert, P. (2018). Proposal of concentration limits for determining the hazard property HP 14 for waste using ecotoxicological tests. *Waste Management*, 74, 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.048>.
3. Gan, Z., Zhao, C., Li, Y., Chen, G., Song, Z., Zhang, Z., Ran, W. (2022). Experimental investigation on smoldering combustion for oil sludge treatment: influence of key parameters and product analysis. *Fuel*, 316, 123354. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123354>.
4. Tahhan, R.A., Ammari, T.G., Goussous, S.J., Al-Shdaifat, H.I. (2011). Enhancing the biodegradation of total petroleum hydrocarbons in oily sludge by a modified bioaugmentation strategy. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 65 (1), 130-134. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.09.007>.
5. Huang, Y., Han, D. (2022). Analysis of China's oil trade pattern and structural security assessment from 2017 to 2021. *Chem. Technol. Fuels Oils*, 58 (1), 146-156. <https://doi.org/10.1007/s10553-022-01362-y>.
6. Hu, G., Li, J., Zeng, G. (2013). Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: a review. *J. Hazard. Mater.*, 261, 470-490. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.069>.
7. Moses, H., Odigire, J.O., Otaru, A.J., Oduoza, C.F. (2023). A potential remediation of total petroleum hydrocarbon from contaminated soils using surfactant suspended multiwall carbon nanotubes. *Results Eng.*, 19, 101371. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101371>.
8. Aziz, Z.S., Jazza, S.H., Dageem, H.N., Banoon, S.R., Balboul, B.A., Abdelzaher, M.A. (2024). Bacterial biodegradation of oil-contaminated soil for pollutant abatement contributing to achieve sustainable development goals: a comprehensive review. *Results Eng.*, 22, 102083. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102083>.
9. Karamalidis, A.K., Voudrias, E.A. (2007). Cement-based stabilization/solidification of oil refinery sludge: leaching behavior of alkanes and PAHs. *J. Hazard. Mater.*, 148 (1), 122-135. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.02.032>.
10. Liu, J., Jiang, X., Zhou, L., Han, X., Cui, Z. (2009). Pyrolysis treatment of oil sludge and model-free kinetics analysis. *J. Hazard. Mater.*, 161 (2), 1208-1215. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.072>.
11. Mater, L., Sperb, R.M., Madureira, L.A.S., Rosin, A.P., Correa, A.X.R., Radetski, C.M. (2006). Proposal of a sequential treatment methodology for the safe reuse of oil sludge-contaminated soil. *J. Hazard. Mater.*, 136 (3), 967-971. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.01.041>.
12. Roldán-Carrillo, T., Castorena-Cortés, G., Zapata-Peñasco, I., Reyes-Avila, J., Olguín-Lora, P. (2012). Aerobic biodegradation of sludge with high hydrocarbon content generated by a Mexican natural gas processing facility. *J. Env. Manage*, 95, 93-98. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.04.014>.
13. Zubaidy, E.A.H., Abouelnasr, D.M. (2010). Fuel recovery from waste oily sludge using solvent extraction. *Process Saf. Environ. Prot.*, 88 (5), 318-326. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2010.04.001>.
14. Liu, C., Li, Y., Fan, D., Zhu, P., Liu, Y., Chao, L., Zhou, C., Yao, B., Zhang, Y., Dai, J. (2025). In situ catalytic pyrolysis of oily sludge using coal gangue char to produce naphthalene-rich oil and hydrogen-rich gas. *Chem. Eng. J.*, 508, 160953. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.160953>.
15. Cheng, S., Wang, Y., Fumitake, T., Kouji, T., Li, A., Kunio, Y. (2017). Effect of steam and oil sludge ash additive on the products of oil sludge pyrolysis. *Appl. Energy*, 185, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.055>.
16. Ran, W., Zhu, H., Shen, X., Zhang, Y. (2022). Rheological properties of asphalt mortar with silane coupling agent modified oil sludge pyrolysis residue. *Constr. Build. Mater.*, 329, 127057. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127057>.
17. Krainiukov, O. M., & Shchokina, M. (2025). Application of biological early warning systems: implementing a prospective approach to water quality monitoring. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (33), 188-198. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-33-13> [in Ukrainian].
18. Krainiukov, O.M., Kryvytska, I.A., Naidonova, O.Ye., Lukash, M.S., Lukash, K.M. (2024). Implementation of the biotesting method for assessing

- оцінки небезпечних властивостей відходів. Екологічні науки. науково-практичний журнал. Видавничий дім «Гельветика», 5(56), 198–202 <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.30>
19. ДСТУ 4174-2003. Якість води. Визначання хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus і *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD).
20. Постанова від 20 жовтня 2023 р. № 1102 «Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів». *Додаток 1 до Порядку класифікації відходів*. Київ : Кабінет Міністрів України, 2023. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1102-2023-n>.
21. Державні санітарні правила 8.8.1.002-98 (1998). Класифікація небезпечних речовин за ступенем токсичності та небезпеки для навколишнього середовища. Київ : МОЗ України, 36.
22. Про управління відходами: Закон України від 29.06.2023 р. № 2320-IX. Відомості Верховної Ради України. Київ: Парлаи. вид-во, 25. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#n987> (дата звернення: 15.11.2025).
23. ДСТУ 4174-2003. Якість води. Визначання хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus і *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD).
24. Саламатін Д. М., Дітляр С. В. (2020). Застосування методів біотестування у моніторингових дослідженнях природних поверхневих, підземних та промислових стічних вод. Екологічні науки. 3(30). 180–185. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.24>
- hazardous properties of waste. Environmental Sciences. Scientific and Practical Journal. Helvetika Publishing House, 5(56), 198–202. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.30> [in Ukrainian]
19. DSTU 4174-2003. Water quality. Determination of chronic toxicity of chemical substances and water using *Daphnia magna* Straus and *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD). [in Ukrainian]
20. Resolution of October 20, 2023 No. 1102 "On Approval of the Procedure for Waste Classification and the National Waste List." Appendix 1 to the Waste Classification Procedure. Kyiv: Cabinet of Ministers of Ukraine (2023). Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1102-2023-n> [in Ukrainian]
21. State Sanitary Rules 8.8.1.002-98. Classification of hazardous substances according to toxicity level and environmental hazard. Kyiv: Ministry of Health of Ukraine (1998). 36. [in Ukrainian]
22. On Waste Management: Law of Ukraine dated June 29, 2023 No. 2320-IX. Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine. Kyiv: Parliamentary Publishing House, (2023). 25. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#n987> (accessed November 15, 2025). [in Ukrainian]
23. DSTU 4174-2003. Water quality. Determination of chronic toxicity of chemical substances and water using *Daphnia magna* Straus and *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD). [in Ukrainian]
24. Salamatin, D. M., & Dihtiar, S. V. (2020). Application of biotesting methods in monitoring studies of natural surface water, groundwater, and industrial wastewater. Ecological Sciences, 3(30), 180–185. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.24>. [in Ukrainian]

Comprehensive Investigation of the HP14 Hazardous Property of Oil-Contaminated Wastes

Oleksii Krainiukov¹,  <https://orcid.org/0000-0002-5264-3118>, e-mail: kraiynukov@karazin.ua

DSc (Geography), Professor,

Department of Ecology and Environmental Management

Ivetta Kryvytska¹,  <https://orcid.org/0009-0004-9543-7076>, e-mail: ivkrivicka@gmail.com

PhD (Biology), Associate Professor, Department of Zoology and Animal Ecology

Valentyna Samokhvalova²,  <https://orcid.org/0000-0003-1352-9838>, e-mail: v.samokhvalova.com@gmail.com

PhD (Agriculture), Senior Researcher, Department of Soil Protection

Maksym Pronenko¹,  <https://orcid.org/0009-0003-9975-3722>, e-mail: maksym.pronenko@karazin.ua

PhD Student, Department of Ecology and Environmental Management

¹ V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine;

² NSC "O.N. Sokolovsky Institute for Soil Science and Agrochemistry", Kharkiv, Ukraine

ABSTRACT

Introduction. The assessment of hazardous properties of industrial waste, particularly ecotoxicity (HP14), is a key element of environmental safety and sustainable waste management. Conventional chemical classification methods based on the determination of individual toxic components often fail to adequately reflect the real ecological risk of complex multicomponent waste matrices. This is especially relevant for oil-containing drilling sludge generated during oil extraction and processing. Therefore, the aim of this study was to evaluate the ecotoxic properties of drilling waste containing petroleum residues using both physicochemical analysis and biological testing in accordance with EU Regulation 2017/997 and relevant Ukrainian regulatory requirements.

Methods. Samples of drilling sludge containing residual drilling fluid were collected from wells No. 150 and 152 of the Velykobubnivske oil field (Sumy region, Ukraine). Physicochemical characterization included determination of pH, moisture content, mineral and organic fractions, petroleum hydrocarbon content, and concentrations of heavy metals. Hazard classification based on chemical composition was performed according to national waste classification procedures. To assess biological toxicity, chronic toxicity bioassays were conducted using the aquatic crustacean *Ceriodaphnia affinis* as a test organism. Toxicity criteria included statistically significant reductions in survival and reproduction compared with control groups over approximately seven days.

ARTICLE INFO

Manuscript received
2 March 2026

Revised manuscript received
8 May 2026

Manuscript accepted
25 May 2026

Available online
30 May 2026

Keywords:

ecotoxicity; drilling sludge; drilling waste; biotesting; HP14; oil-containing waste; environmental risk; waste classification.

Results. Physicochemical analysis showed that both waste samples consisted predominantly of mineral components with alkaline pH values (10–11) and relatively low concentrations of heavy metals. The total content of toxic substances of hazard classes I–III was below established regulatory thresholds, which initially indicated the absence of the hazardous property HP14. However, bioassay results revealed chronic toxicity of aqueous extracts corresponding to water quality class 4 (polluted). The observed biological response indicated significant ecotoxic effects despite low measured concentrations of individual toxicants. This discrepancy is likely due to combined effects of multiple contaminants, the presence of unaccounted organic compounds, differences in bioavailability, and chemical transformations occurring in aqueous environments.

Conclusions. The study demonstrates that chemical analysis alone may underestimate the ecological hazard of complex industrial wastes such as drilling sludge. Bioassay results provided evidence of ecotoxicity not predicted by physicochemical data, highlighting the importance of integrated assessment approaches combining chemical and biological methods. Implementation of standardized biotesting procedures is recommended for reliable classification of waste according to HP14 criteria and for environmentally sound waste management decisions. Such integrated methodologies can improve ecological risk assessment, support regulatory compliance, and enhance environmental protection in areas affected by oil industry activities.

In cites:

Krainiukov Oleksii, Kryvytska Ivetta, Samokhvalova Valentyna, Pronenko Maksym (2026). Comprehensive Investigation of the HP14 Hazardous Property of Oil-Contaminated Wastes. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series Geology. Geography. Ecology*, (64), 415–423. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2026-64-32> [In Ukrainian]
