НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ЛАБОРАТОРІЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕКИ ПРОДУКЦІЇ АПК
ФАКУЛЬТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН: НІТРОАРОМАТИЧНИХ СПОЛУК ТА НІТРОАМІНІВ (МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ)

КИЇВ – 2026

УДК 662.1/.4(072)

Рекомендовано до видання рішенням Вченої ради
Української лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України
(протокол № 2 від 11 червня 2026 р.)

Рецензенти:

Літвінов Д.В., доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва ім. О.І. Душечкіна Національного університету біоресурсів і природокористування України

Жирнов В.В., доктор медичних наук, провідний науковий співробітник Інституту біоорганічної хімії і нафтохімії ім. В. П. Кухаря НАН України

Методи визначення залишків вибухових речовин: нітроароматичних сполук та нітроамінів (методичні вказівки)

С.В. Мідик, С.А. Сенін, Корнієнко В.І., Т.В. Таран, А.Б. Альтанова,
К.: Видавництво «Наукова столиця»", 2026. - 22 с.

У методичних вказівках висвітлено результати напрацювань згідно робочої програми науково-дослідної теми «Наукове обґрунтування концептуальних засад моніторингу хімічних чинників довкілля, викликаних мілітарним впливом», № держреєстрації 0125U001874.

Надано огляд щодо існуючих методів визначення вибухових речовин, зазначено їх переваги та недоліки. Описано техніку та етапи проведення методик, підготовку проб, умови хроматографування, методи обрахунку даних для методик, розроблених в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України, а саме для методик з визначення 14-ти нітроароматичних сполук та нітроамінів: Октоген (HMX); Гексоген (RDX); 1,3,5-тринітробензен (1,3,5-TNB); 1,3-динітробензен (1,3-DNB); Тетрил; Нітробензен (NB); 2,4,6-тринітротолуол (2,4,6-TNT); 4-аміно-2,6-динітротолуол (4-Am-DNT); 2-аміно-4,6-динітротолуол (2-Am-DNT); 2,6-динітротолуол (2,6-DN); 2,4-динітротолуол (2,4-DNT); 2-нітротолуол (2-NT); 4-нітротолуол (4-NT); 3-нітротолуол (3-NT) у ґрунтах і воді.

Зміст викладеного матеріалу впроваджено в навчальний процес для викладання дисциплін «Методика санітарних досліджень» та «Лабораторний аналіз харчових продуктів» для студентів ОС «Магістр» зі спеціальності 212 «Ветеринарна гігієна, санітарія і експертиза», а також у рамках підвищення кваліфікації для фахівців профільних хімічних лабораторій.

© Мідик С.В., Сенін С.А., Корнієнко В.І.,
Таран Т.В., Альтанова А.Б., 2026
© НУБіП України, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП…….4

1. ОГЛЯД НАУКОВИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ ЩОДО СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН……5

2. МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН, ЯКІ РОЗРОБЛЕНІ В УКРАЇНСЬКІЙ ЛАБОРАТОРІЇ ЯКОСТІ І БЕЗПЕКИ ПРОДУКЦІЇ АПК ……...8

2.1. ВИЗНАЧЕННЯ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН У ГРУНТІ…….8

2.1.1. Відбір та зберігання проб…….....8

2.1.2. Реактиви, витратні матеріали, посуд, обладнання……...9

2.1.3. Екстракція вибухових речовин з ґрунту за використанням ультразвукової обробки (без концентрування). Модифікований метод згідно ISO 11916-1:2013……...10

2.1.4. Екстракція вибухових речовин з ґрунту за використання ультразвукової обробки (з концентруванням). Метод модифікованої пробопідготовки QuEChERS……..11

2.1.5. Визначення вибухових речовин методом ГХ/МС……..12

2.2. ВИЗНАЧЕННЯ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ТА СПОРІДНЕНИХ СПОЛУК У ВОДІ……..12

2.2.1. Відбір, зберігання, консервація та режими транспортування проб води……..12

2.2.2. Екстракція вибухових речовин з проб води з використання методу рідина-рідина (модифікований Method 8330A)……..….14

2.2.3. Хроматографічний аналіз вибухових речовин у воді методом ВЕРХ-УФ……16

2.2.4. Аналізування вибухових речовин у воді методом ГХ-МС (відповідно до ISO 11916-2:2013)……..17

2.3. Контроль якості вимірювання, вимоги до точності вимірювань та її приписні характеристики……..18

2.4. Контролювання точності результатів вимірювань……19

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ ……..20

ВСТУП

Вибух – це процес дуже швидкого перетворення вибухової речовини на велику кількість сильно стислих і нагрітих газів, які, розширюючись, створюють механічну дію (руйнування, переміщення, дроблення, викидання). У роботі J. Breeze et al., 2023 [1] показано, що дослідження слідів вибуху є одним із ключових складових криміналістичного розслідування, яке дозволяє отримати інформацію щодо виду використовуваної вибухової речовини, її якісні та кількісні характеристики, параметри пристрою, конструктивні особливості, включаючи основні елементи та спосіб виготовлення. Крім того, O. Adegoke et al., 2021 [2] показали, що одним з об'єктів криміналістичного дослідження є власне самі залишкові кількості вибухових речовин, що відібрані безпосередньо з місця вибуху.

Вибуховими речовинами називають хімічні сполуки або суміші сполук, які під впливом певних зовнішніх факторів здатні до швидкого, хімічного перетворення з виділенням енергії і великої кількості газів.

Нині існує величезна кількість вибухових речовин, але застосовуються лише декілька десятків. За даними F. Zapata et al., 2021 [3], вибухові речовини частіше класифікуються за цільовим призначенням. Згідно цієї класифікації вибухові речовини поділяються на 4 групи – бризантні, ініціюючі речовини, метальні та піротехнічні. Найбільш поширеними є групи ініціюючих та бризантних вибухових речовин. Необхідно також зазначити, що найбільший інтерес з точки зору хімічного аналізу становлять вибухові речовини бризантної дії, які найчастіше аналізуються в експертній практиці. До вибухових речовин бризантної дії відносять 2,4-динітротолуол, 2,6-динітротолуол, 1,3,5-тринітробензол, 2,4,6-тринітротолуол, гексоген, тетрил тощо.

Методичні рекомендації покликані уніфікувати підходи до пробопідготовки та аналітичного визначення вибухових речовин хроматографічними методами, забезпечуючи високу відтворюваність і достовірність результатів контролю. Орієнтовані на профільних спеціалістів (хіміків-аналітиків), а також аспірантів та студентів в галузі аналітичних методів досліджень за такими напрямками: хімія, екологія, біологія, медицина, ветеринарія, безпека сировини та кормів для тварин.

1. ОГЛЯД НАУКОВИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ ЩОДО СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

У зв'язку з розслідуванням злочинів, що скоюються із застосуванням вибухових пристроїв, актуальним завданням є визначення залишкових кількостей вибухових речовин (нітроамінів та нітроароматичних сполук) у ґрунтах відібраних з місць вибуху із застосуванням сучасних хроматографічних методів дослідження. Згідно даних M. Celin et al., 2023 [4] до таких методів можна віднести метод газорідинної хроматографії з мас-селективним та електронного захоплення детектором та метод високоефективної рідинної хроматографії з ультрафіолетовим (ВЕРХ-УФ) та мас-селективним детектором.

Кожен метод має свої як переваги так і недоліки. Так, згідно ISO 11916-2:2013 [5], метод газорідинної хроматографії дозволяє проводити визначення лише похідних нітроароматичних сполук (2,6-динітротолуол, 2,4,6-тринітротолуол тощо) тоді як гексоген, октоген та тетрил даним методом не визначаються.

Останнім часом все більше уваги привертає метод високоефективної рідинної хроматографії з ультрафіолетовим детектором , який дає можливість проводити селективне та високочутливе визначення одночасно чотирнадцяти вибухових речовин (нітроамінів та нітроароматичних сполук) в одній пробі. Крім того, у науковій роботі J. Jeong et al., 2025 [6] можна зустріти використання пробопідготовки QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe – Швидко, Просто, Дешево, Ефективно, Надійно і Безпечно), яка дозволяє швидко та ефективно проводити екстракцію залишкових кількостей цільових компонентів та очищення екстракту від компонентів матриці.

Традиційно пробопідготовка QuEChERS використовується для визначення залишкових кількостей пестицидів різних класів методом газової або рідинної хромато-мас-спектрометрії. Проте, як свідчать останні дані, пробопідготовка QuEChERS в тій чи іншій модифікації може застосовуватися також для визначення залишкових кількостей антибіотиків R. Negi et al., 2025 [7], мікотоксинів S. Senin et al., 2023 [8], поліхлорованих біфенілів S. Senin et al., 2024 [9] тощо.

Нині, для розробки експресних та високочутливих методів аналізу вибухових речовин у грунті та в інших матрицях застосовують сучасні фізико-хімічні та хроматографічні методи дослідження.

У науковій роботі X. Pan et al., 2021 [10] було проведено дослідження такої вибухової речовини, як гексоген (RDX) та його метаболітів у біологічних об'єктах за допомогою газорідинної хроматографії з детектором захоплення електронів (GC-ECD). Авторами статті зазначається, що гексоген (RDX)

спричиняє забруднення ґрунту та води, є токсичною речовиною для багатьох організмів, включаючи рослини, тварини та мікроорганізми. Крім того, гексоген (RDX) може викликати генетичну нейротоксичність, а також підвищувати ризик канцерогенезу. Гексоген (RDX) здатен біотрансформуватися в N-нітрозопохідні (MNX, DNX та TNX), які можуть накопичуватися як в оточуючому середовищі так і в тканинах живих організмів.

Авторами W. Pawłowski et al., 2017 [11] було показано успішне застосування методу GC-ECD з метою контролю якості проведення експертних досліджень (ймовірності контамінації на руках) вибухових речовин. Аналітична процедура складалася з етапу відбору проб, екстракції з марлевого тампона, перенесення екстракту та проведення інструментального аналізу на основі газової хроматографії (GC-ECD). Авторами було встановлено, що серед вибухових речовин найбільшої контамінації зазнавав 2,4,6-тринітротолуол (TNT) і в меншій мірі – гексоген (RDX).

B. Salem et al., 2025 [12] зазначають, що найбільш універсальним методом визначення залишкових кількостей вибухових речовин (нітропохідних ароматичних вуглеводнів) у різних матрицях (в тому числі і в ґрунті) є газорідинна хроматографія з мас-спектрометричним детектуванням (GC-MS). Даний метод дозволяє з високою чутливістю та селективністю провести ідентифікацію термостабільних вибухових речовин використовуючи базу даних мас-спектрів.

У роботі E. Holmgren et al., 2012 [13] представлена розробка та оцінка придатності (валідація) нового й точного методу визначення вибухових речовин у грунті методом GC-MS з хімічною іонізацією. Автори пропонують для більш ефективної екстракції вибухових речовин з ґрунту використовувати суміш розчинників ацетонітрилу та дихлорметану у співвідношенні 50:50 при 30 °C. Метод збільшив вилучення більш летких продуктів, забезпечив вищу точність та значно заощадив час порівняно зі звичайним методом EPA 8330.

Незважаючи на універсальність методу GC (GC-MS), визначення таких вибухових речовин, як гексоген, октоген, тетрил та пентаеритритол тетранітрату (PETN) у зв’язку з їх термічною нестабільністю даними методами викликає певні труднощі. Високоефективна рідинна хроматографія з ультрафіолетовим детектором (HPLC-UV) усуває недоліки газової хроматографії та дозволяє проводити визначення всіх основних вибухових речовин та їх метаболітів (гексогену (RDX), октогену (HMX), нітроароматичних сполук та нітроамінів).

У науковому дослідженні M. Salih et al., 2022 [14] представлена розробка та оцінка придатності (валідація) методики з визначення вибухових речовин (гексогену (RDX), октогену (HMX), 2,4,6-тринітротолуолу (2,4,6-TNT), тетрилу тощо) методом високоефективної рідинної хроматографії з діодно-матричним

детектором (HPLC-DAD). Оптимальною рухомою фазою для колонки (XDB-C18 (5 μm–4,6×150 mm)) була суміш 22 % ізопропанолу (IPA) у воді. В якості розчинника стандартних та випробувальних зразків використовували суміш вода : ацетонітрил (60 % : 40 %). Лінійні діапазони становили 6.5–100 мг/л (R2=0.998–0.999) для досліджуваних вибухових речовин. Середні показники повернення (Recovery, %) знаходилися в діапазоні від 95.3 % до 103.3 %. Межа виявлення (LOD) та кількісного визначення (LOQ) була в межах від 0.09 мг/л до 1.32 мг/л та від 0.31 мг/л до 4.42 мг/л відповідно.

Нині, все більше даних з'являється щодо визначення вибухових речовин методом високоефективної рідинної хроматографії з мас-спектрометричним детектуванням (LC-MS/MS).

Так, авторами H. Şener et al., 2022 [15] був розроблений LC-APCI-MS/MS експресний метод скринінгу/підтвердження 18-ти залишків вибухових речовин та їх метаболітів у грунті. Авторами була описана можливість екстракції вибухових речовин з матриці (ґрунту) в один етап – метанолом. Також авторами була проведена оцінка придатності методу (валідація) та отримані задовільні метрологічні характеристики. Більшість показників повернення становили > 80 %, тоді як показники точності були < 15%. Значення межі виявлення (LOD) та межі кількісного визначення (LOQ) становили від 0.2 до 54.1 нг/г та від 0.3 до 190.0 нг/г відповідно.

Авторами P. Suppajariyawat et al., 2021 [16] було проведено дослідження органічних вибухових речовин, зокрема гексогену (RDX), 2,4,6-тринітротолуолу (TNT), тетрилу, 1,3,5-тринітробензолу (1,3,5-TNB) та пентаеритритол тетранітрату (PETN) за допомогою високоефективної рідинної хроматографії з мас-спектрометричним детектуванням (time-of-flight mass spectrometry) високої роздільної здатності (LC-QTOF/MS). Час утримування, енергія колізії, іони-попередники та характеристичні MS/MS спектри для кожної вибухової речовини, були отримані за допомогою хімічної іонізації за атмосферного тиску (APCI) у режимі негативних іонів. Результати дослідження авторів показали, що LC-QTOF/MS є потужним методом для ідентифікації та підтвердження термічно нестабільних органічних вибухових речовин на відміну від звичайного GC-MS методу.

2. МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН, ЯКІ РОЗРОБЛЕНІ В УКРАЇНСЬКІЙ ЛАБОРАТОРІЇ ЯКОСТІ І БЕЗПЕКИ ПРОДУКЦІЇ АПК

У цьому розділі описані методики визначення вибухових речовин, які розроблені та валідовані в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК (УЛЯБП АПК) Національного університету біоресурсів і природокористування (НУБіП) України. Система управління якістю УЛЯБП АПК побудована відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT), що підтверджено Атестатом Національного агентства з акредитації України.

При розробці методик взято за основу Method 8330 A [17], який використовується для визначення залишкових кількостей вибухових речовин у грунті та у воді методом високоефективної рідинної хроматографії з УФ (ультрафіолетовим) детектором. Визначали наступні сполуки:

Назва сполуки	CAS номер
Октоген (HMX)	
Гексоген (RDX)	
1,3,5-тринітробензен (1,3,5-TNB)	
1,3-динітробензен (1,3-DNB)	
Тетрил	
Нітробензен (NB)	
2,4,6-тринітротолуол (2,4,6-TNT)	
4-аміно-2,6-динітротолуол (4-Am-DNT)	
2-аміно-4,6-динітротолуол (2-Am-DNT)	
2,6-динітротолуол (2,6-DN)	
2,4-динітротолуол (2,4-DNT)	
2-нітротолуол (2-NT)	
4-нітротолуол (4-NT)	
3-нітротолуол (3-NT)	

2.1. ВИЗНАЧЕННЯ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН У ГРУНТІ

2.1.1. Відбір та зберігання проб (згідно з ISO 11916-1:2013).

Під час відбору проб ґрунту необхідно видалити сторонні домішки (наприклад, рослинні рештки та каміння). Зразки слід помістити в колби з темного скла та перенести в світлозахисний контейнер для транспортування. Аналіз зразків ґрунту має бути проведений у найкоротші терміни.

Якщо обробку зразка проводять протягом одного тижня після відбору, його слід зберігати у захищеному від світла місці при температурі (4 ± 2) °С. Зразки, що підлягають тривалішому зберіганню (понад один тиждень) до початку аналізу, необхідно зберігати при температурі −20 °С. Гомогенізацію зразка здійснюють шляхом просіювання крізь сито з розміром отворів 2 мм.

Для визначення летких нітроароматичних сполук (2-NT, 3-NT, 4-NT, NB) відбір проби слід проводити таким чином, щоб мінімізувати втрати внаслідок випаровування.

Зразки, відібрані переважно для визначення летких сполук, також можна готувати шляхом їхнього негайного поміщення (безпосередньо на місці відбору) в екстракційну віалу з метанолом або з ацетонітрилом. У звіті такі проби слід класифікувати як негомогенізовані невідсіяні точкові проби.

Для розрахунку вмісту вибухових речовин у перерахунку на суху речовину необхідно визначити вміст сухого залишку в ґрунті природної вологості згідно з ISO 11465.

Орієнтовна маса проби повинна складати приблизно від 500 г до 1000 г.

2.1.2. Реактиви, витратні матеріали, посуд, обладнання

Для проведення аналізу використовують: ацетонітрил HPLC якості, виробництва Carlo Erba (Франція); вода деіонізована для екстрагування, HPLC чистоти, що відповідає вимогам ISO 3696 (клас 1, ASTM тип I, CLSI тип I); аналітичний стандарт: Стандартний зразок 8330B Nitroaromatics and Nitramine Mix (1000 мкг/мл розведений в ацетонітрилі), Restek, каталожний №33204; Магнію сульфат безводний (виробництва Sigma-Aldrich, США); Натрію хлорид (виробництва Merck, Німеччина); Метанол HPLC якості (виробництва Honeywell, США); Мурашина кислота 98.0-100 % (виробництва Sigma-Aldrich, США); Картриджі SPE, Waters PORAPAK RDX; Диски для очищення: 66886-U Диски Supelco Empore™ SPE. SDB-RPS, діаметр 47 мм; Етилацетат: 650528. Sigma-Aldrich; сертифікований референтний матеріал (CRM) чистого ґрунту (Clean Sandy Loam) виробництва фірми Sigma-Aldrich; метанол для хроматографії Sigma-Aldrich (Methanol for HPLC), чистота ≥99,9%; діетиловий ефір HPLC якості; сульфат натрію Na_2SO_4 кристалічний, безводний (очищують нагріванням до 400ºС протягом 4 год).

Робочі стандартні розчини. Готують принаймні п’ять різних концентрацій необхідним розведенням проміжних стандартних розчинів екстрагувальним розчинником. Зберігають розчини приблизно за 4˚С без доступу сонячного світла.

Апаратура та обладнання: хроматограф рідинний серії «Dionex UltiMate 3000» з ультрафіолетовим детектором, персональний комп´ютер з програмним

забезпеченням «Chromeleon» версії 6.80; аналітична колонка VDSpher 100 C18-M, 5 µm, 250 × 4,6 mm; хроматограф газовий з мас-селективним детектором Agilent Technologies 7890B-MSD 5975C (Q); капілярна кварцева колонка DB-5 (TR-5MS) (5% феніл)-поліметилсилоксан), 30 м × 0.32 мм (або 0.25 мм) × 0.25 мкм; ультразвукова баня Sonorex Digitec DB-510H; газовий хроматограф з мас-спектрометричним детектором AgilentTechnologies 7890B-MSD 5977B(Q); ультразвукова баня з терморегуляцією: робоча частота 35 Гц, ефективна ВЧ-потужність (високочастотна) не менше 140 Вт; водяна баня повинна забезпечувати підтримання температури на рівні (30 ± 5)°C або (50 ± 5)°C під час проведення ультразвукової екстракції; ротаційний випаровувач RV-10 digital; камера морозильна Tenak EL 31 T (t=20±20°C); центрифуга з охолодженням Thermo Scientific Heraeus Biofuge Primo R; струшувач IKA 3 SM basis; ваги аналітичні электроні Sartorius G-603, II класу, з похибкою вимірювання 0.0001г або аналогічні; ваги технічні електронні Sartorius GE-2101, 4 класу, з похибкою вимірювання 0.01г чи аналогічні; шафа сушильна електрична Binder ED 115 (114 л, 300°C); скляний циліндр об'ємом 1000 мл, 50 мл; мікрошприци МШ-5,0-100,0 мкл; автоматичні піпет-дозатори на 200-1000 мкл (Biohit); Колби мірні місткістю 10 $см^3$ II класу; лійка ділильна грушоподібна (Simax); колба сердцевидна для випаровування, ємністю 250 мл; центрифужні пробірки на 50 мл з політетрафторетилену з гвинтовою кришкою; склянки з темного скла місткістю 10 $см^3$; штатив лабораторний; паперові фільтри обеззолені, червона стрічка d=9,0 см; шприц для фільтрування місткістю 20 $см^3$; шприцевий фільтр 0,22 мкм; віали місткістю 2 $см^3$.

2.1.3. Екстракція вибухових речовин з ґрунту за використання ультразвукової обробки (без концентрування). Модифікований метод згідно ISO 11916-1:2013

Цей метод екстракції використовується для визначення масової частки всіх 14 вибухових речовин.

Відберіть 10 г гомогенізованого зразка грунту та зважте його в екстракційну центрифужну пробірку місткістю 50 мл з точністю ± 0,1 г. Додайте робочий стандарт для контролю якості методу, якщо він використовується, у такій кількості, щоб його концентрація у фінальному екстракті становила від 1 мг/кг до 10 мг/кг.

Додайте 10 мл ± 0,1 мл ацетонітрилу або метанолу відповідно та герметично закрийте кришкою з ПТФЕ-прокладкою (тефлоновою). Перемішайте центрифужну пробірку з використанням лабораторного шейкеру (IKA MS 3 basic) , після чого проведіть ультразвукову екстракцію в УЗД бані протягом 16 год при температурі (30 ± 5) °C або протягом 4 год при температурі (50 ± 5) °C.

Під час екстракції рівень води в УЗД бані має бути принаймні на 1 см вище рівня розчинника всередині екстракційних колб.

Після завершення ультразвукової екстракції залиште зразок для осадження часток ґрунту та охолодження до кімнатної температури. Не відкривайте центрифужну пробірку до її повного охолодження до кімнатної температури. З метою повного осадження часток грунту, за необхідності, можна провести центрифугування при 7 000g протягом 10 хв. Далі відбирали 0,5 мл екстракту та переносили у центрифужну пробірку місткістю 1,5 мл та додавали 0,5 мл деіонізованої води (50:50 за об'ємом), після чого перемішували на вортексі протягом 1 хв.

Далі проводили фільтрували через шприцевий фільтр із середнім діаметром пор 0,45 мкм (або центрифугування протягом 10 хв при 15000 об/хв), після чого очищений екстракт переносили у віали та аналізували методом HPLC-UV.

2.1.4. Екстракція вибухових речовин з ґрунту за використання ультразвукової обробки (з концентруванням). Метод модифікованої пробопідготовки QuEChERS

Цей метод екстрації не використовується для визначення летких нітроароматичних сполук (2-NT, 3-NT, 4-NT, NB).

10 грам подрібненого випробувального зразку ґрунту поміщали у центрифужну пробірку місткістю 50 мл. Додавали 10 мл ацетонітрилу, перемішували на шейкері (IKA MS 3 basic) протягом 1 хвилини та ставили в ультразвукову баню протягом 4 годин при 50 °C. Після ультразвукової обробки, охолоджували зразок до кімнатної температури.

Другий етап пропобідготовки проводили згідно модифікованої пробопідготовки QuEChERS. До отриманої суміші додавали 5 мл води та перемішували на шекері протягом 1 хв. Додавали 4 г безводного сульфату магнію та 1 г хлориду натрію, після чого інтенсивно струшували впродовж 1 хв. Отриману суміш центрифугували протягом 10 хв при 7000 об/хв. Відбирали дозатором 8 мл верхнього органічного шару і переносили у грушоподібну колбу для випаровування. Випаровували екстракт на роторному випарнику при 40°C. До сухого залишку додавали 1 мл розчину метанол : вода (50 : 50 за об'ємом), після чого перемішували на вортексі протягом 1 хв. Далі екстракт переносили у центрифужну пробірку місткістю 1.5 мл та проводили центрифугування протягом 10 хв при 15000 об/хв. Отриманий супернатант фільтрували через шприцевий фільтр із середнім діаметром пор 0.45 мкм, після чого очищений екстракт переносили у віали та аналізували методом HPLC-UV.

2.1.5. Визначення вибухових речовин методом ГХ/МС

Методом ГХ-МС не визначаються термонестабільні та нелеткі вибухові речовини: октоген (HMX), гексоген (RDX), PETN (пентаеритриттетранітрат) та нітрогліцерин.

1 $см^3$ розчину вибухових речовин переносять у віали на 1.5$см^3$для та аналізують методом капілярної газової хромато-мас-спетрометрії в режимі повного сканування либо ГХ-МС (SIM) за вище приведених умов хроматографування. Склад отриманих мас-спектрів в умовах електронної іонізації (EI) молекул вибухових речовин використовується для подальшої ідентифікації та кількісного аналізу.

Для підтвердження ідентифікації сполук проводять співставлення мас-спектрів сполук, що ідентифіковані, з мас-спектрами відповідних аналітичних стандартів, що приготовлені та хроматографовані за однакових умов. При співставленні спектрів необхідно дотримуватись наступних рекомендацій:

- запобігати перевантаження детектора

-хроматограми зразків повинні мати піки що відповідають по формі та часу утримання пікам градуювальних розчинів (при однакових концентраціях)

-співвідношення інтенсивностей характеристичних іонів (m/z) у мас-спектрі зразка повинно бути в межах ±30% співвідношення мас-іонів градуювальних розчинів.

Кількісне визначення вибухових речовин проводять за методом зовнішнього стандарту шляхом порівняння мас-хроматограм проби та стандартних розчинів, використовуючи градуювальну залежність.

2.2. ВИЗНАЧЕННЯ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ТА СПОРІДНЕНИХ СПОЛУК У ВОДІ

2.2.1. Відбір, зберігання, консервація та режими транспортування проб води.

Відбір та зберігання проб води (згідно з METHOD 529). У якості контейнерів для проб використовують скляні пляшки з темного скла місткістю 1 л, оснащені поліпропіленовими гвинтовими кришками з прокладками з політетрафторетилену (ПТФЕ/тефлону).

Використання пляшок із темного скла є наполегливо рекомендованим, оскільки деякі з аналітів, що визначаються даним методом, є світлочутливими та можуть руйнуватися під дією випромінювання. Допускається використання пляшок із прозорого скла за умови їхнього обгортання фольгою або зберігання зразків у коробах, що унеможливлюють вплив світла.

Відбір із водопровідного крана: відкрийте кран і промивайте систему до стабілізації температури води (зазвичай це займає близько 2 хв). Налаштуйте швидкість потоку приблизно на 500 мл/хв і відберіть пробу безпосередньо з проточного струменя. Пляшка місткістю 1 л має бути заповнена майже повністю, проте залишати вільний простір над поверхнею рідини (*headspace*) дозволяється. Якщо до пляшки перед відбором було додано консерванти, будьте обережні, щоб не вимити їх під час наповнення ємності. Зберігайте зразки герметично закритими з моменту відбору до початку аналізу.

Відбір із відкритих водойм: Заповніть контейнер для проби водою, відібраною з репрезентативної ділянки водойми.

Вимоги до обладнання: обладнання для відбору проб, включаючи автоматичні пробовідбірники, не повинно містити пластикових трубок, прокладок або інших деталей, які можуть спричинити вимивання (*leaching*) заважаючих речовин у пробу води.

Дехлорування та консервація проб води. Усі зразки підлягають дехлоруванню та консервації шляхом додавання інгібітору мікробіологічної активності безпосередньо під час відбору. Дослідження Дженкінса та ін. (8) чітко продемонстрували необхідність мікробіологічної консервації для ряду аналітів, що визначаються цим методом.

Схема консервації:

- *інгібітор мікробіологічної активності:* п’ятиводний сульфат міді (медний купорос, $CuSO_4$ $5H_2O$) додають у концентрації 0,5 г/л води.
- *Буферний розчин:* Кристали Trizma Pre-Set Crystals pH 7 додають у концентрації 5,0 г/л. Буфер виконує подвійну функцію: зв’язує вільний хлор та утримує мідь у розчиненому стані.

Буфер слід додавати до всіх зразків, навіть якщо вони не були хлоровані.

Сульфат міді та Trizma можна вносити у пляшки для проб у вигляді сухих солей ще до транспортування контейнерів до місця відбору.

Альтернатива буферу Trizma. Замість готової суміші Trizma Pre-Set Crystals pH 7 на кожен 1 л проби можна використовувати суміш:

- 0,3 г трис(гідроксиметил)амінометану;
- 4,7 г гідрохлориду трис(гідроксиметил)амінометану.

Режими транспортування. Під час пересилання всі зразки мають бути обкладені льодом; протягом перших 48 годин їхня температура не повинна перевищувати 10 °C. При надходженні до лабораторії необхідно підтвердити, що температура проби становить 10 °C або нижче.

Зберігання в лабораторії. До моменту екстракції зразки, що надійшли до лабораторії, мають зберігатися при температурі не вище 6 °C. Заморожування проб не допускається.

Попереднє охолодження. Зразки, температура яких на момент відбору значно перевищує 10 °С, може бути необхідно витримати з льодом або в холодильнику протягом певного часу для охолодження перед відправленням.

Терміни зберігання. Екстракцію зразків необхідно провести протягом 14 днів із моменту відбору. Екстракти проб можуть зберігатися до 30 днів після проведення екстракції за умови їхнього розміщення у віалах із темного скла при температурі 0 °С або нижче.

2.2.2. Екстракція вибухових речовин з проб води з використанням методу рідина-рідина (модифікований Method 8330A)

Цей метод екстракції не використовується для визначення летких нітроароматичних сполук (2-NT, 3-NT, 4-NT, NB).

Зразки води бажано транспортувати протягом 48 годин після відбору проби за температури менше 10ºС. Екстракцію слід провести протягом 14 днів, після чого екстракти можуть зберігатися 30 днів за температури менше 0 ºС

Зразок аналізованої води у кількості 1 л переносять у відповідну за об'ємом склянку за допомогою мірного циліндра. До вмістимого додають 325 г NaCl і перемішують до повного розчинення солі, після чого переносять у ділильну лійку і відзначають меніск. Додають 30 мл діетилового ефіру та проводять м'яку екстракцію протягом 5 хв з періодичним вентилюванням. Відстоюють мінімум 10 хв для розшаровування емульсії. Якщо емульсія на поверхні розділу стійка, використовують механічну технологію для повного розділення шарів. Наприклад, перемішування, фільтрування через скловолокно, центрифугування або інші фізичні методи. Після розшаровування спускають водний шар у скляну склянку, а шар діетилового екстракту збирають у серцеподібну колбу, пропускаючи через шар сульфату натрію безводного (7-8 г), поміщеного на паперовий фільтр конічної скляної воронки. Зразок води зі скляної склянки переносять знову в ділильну лійку, додають нову порцію 30 мл діетилового ефіру та проводять другу стадію м'якої екстракції протягом 5 хв. Після розшаровування емульсії шар води знову зливають у скляну склянку, а діетиловий екстракт збирають у ту ж серцеподібну колбу, пропускаючи через сульфат натрію.

У разі потреби можливо провести третій етап екстракції наступною порцією 30 мл діетилового ефіру. Після поділу шарів воду зливають, а діетиловий екстракт додають ту ж серцеподібну колбу через шар сульфату натрію.

Серцеподібну колбу з об'єднаним екстрактом приєднують до роторного випарника і упарюють насухо при температурі водяної бані не вище 45-50ºС та залишковому тиску 20 мм.рт.ст.

До сухого залишку екстракту додають 1 мл ацетонітрилу, переносять у віалу для автосамплеру для аналізування методом ГХ-МС (ВЕРХ-УФ). У разі необхідності екстракт очищають методом дисперсійної або колонкової твердофазної екстракції на суміші сорбентів, що містять силікагель С18, вторинний аніонообмінник і сульфат магнію.

Перевірка проводилася для 14-ти вибухових сполук у концентрації 5 мкг/дм^3 і двох повторах з добавкою суміші (Тестовий стандартний розчин Restek 33204) в чисту матрицю води. 0.05 мкг/дм^3. Межа детектування ГХ/МС LOD 0.5 мкг/мл. Екстракт з 1 дм^3 дистильованої води без добавок проведений через всі етапи пробопідготовки був включений в серію в якості холостого. Перевірено також використаний органічний розчинник, сконцентрований у пропорції аналогічного зразку.

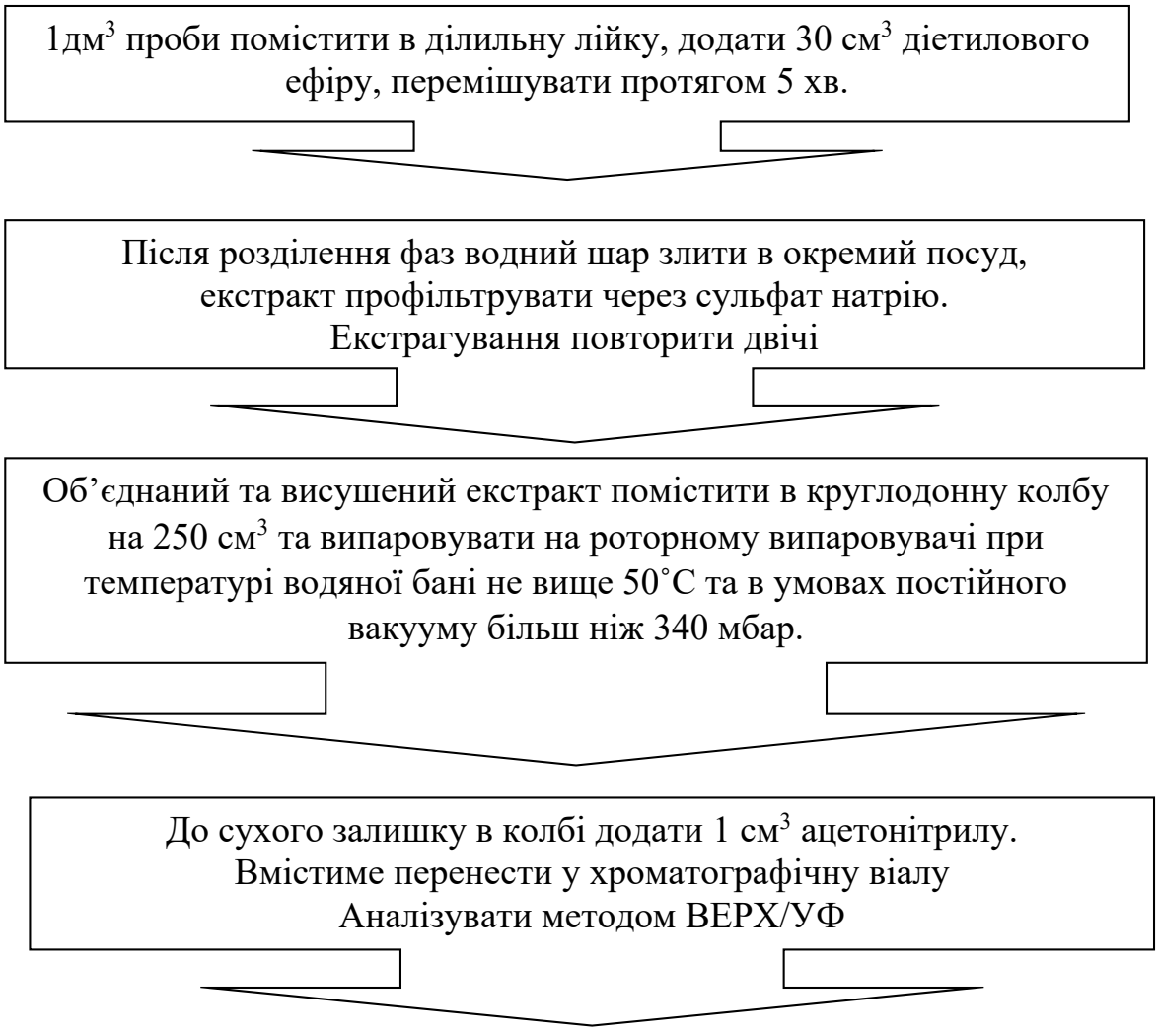


Рисунок 1. Блок-схема визначення вмісту окремих вибухових сполук у поверхневій воді

2.2.3. Хроматографічний аналіз вибухових речовин у воді методом ВЕРХ-УФ

Проводять хроматографування проби не менше ніж у двох повторах (паралелях). Кількісне визначення вибухових речовин проводять за методом зовнішнього стандарту шляхом порівняння хроматограм проби та стандартних розчинів, використовуючи градуювальну залежність.

Для визначення кількісного вмісту компонентів вибухових речовин у пробі проводять хроматографічний аналіз одного з градуювальних розчинів і хроматографічний аналіз підготовленої проби.

Оскільки ґрунт є досить складною матрицею з нерівномірним розподілом вибухових речовин, точність оцінки вилучення вимагає використання «холостих» (без залишків вибухових речовин) зразків ґрунту для вимірювань.

Приготування градуювальник розчинів стандартних зразків. Для побудови градуювальної залежності готують 5 різних концентрацій у межах аналітичного стандартного розчину суміші 14-ти вибухових речовин.

Градуювальні розчини нітроароматичних сполук та нітроамінів мали наступні концентрації: 2,0 мкг/мл; 5,0 мкг/мл; 10 мкг/мл; 20 мкг/мл та 50 мкг/мл. Для кожного із стандартних розчинів було отримано 2 значення аналітичного сигналу (площі хроматографічного піку) з використанням однієї партії реактивів та обладнання.

Для кожної концентрації було отримано по 2 площі хроматографічних піків.

Межі виявлення (LOD) та межі кількісного визначення (LOQ) розраховані за формулами (1 і 2) відповідно:

$$LOD = 3.3\sigma / S \qquad (1)$$

$$LOQ = 10\sigma / S \qquad (2)$$

де

σ – стандартне відхилення відгуку; S – нахил градуювальної прямої

Для приготування розчинів використовують мірний посуд.

Термін придатності розчину при +4 – 6°С не більше 6 місяців.

Підготовка хроматографа (ВЕРХ-УФ). Для хроматографування було використано рідинний хроматограф серії «Dionex UltiMate 3000» з ультрафіолетовим детектором, персональний комп´ютер з програмним забезпеченням «Chromeleon» версії 6.80. Температура автосамплеру становила 40 ^{0}С. Об'єм введеної проби: 10 мкл. Аналітична колонка: VDSpher 100 C18-M, 5 μm, 250 X 4,6 mm. Елюювання вибухових речовин проводили в ізократичному режимі (елюент А/В, 60/40). Рухома фаза: А – вода (0.1 % мурашина кислота); В

– метанол (0.1 % мурашина кислота). Об'ємна швидкість рухомої фази на колонку складала 1,0 мл/хв. Довжина хвилі UV детектору – 254 нм.

Хроматографічні умови

A: H_2O (0,1%мурашина кислота)	B:метанол (0,1%мурашина кислота)	Тривалість, хв
40	60	55,00

Аналіз калібрувальних розчинів. Градуювальну характеристику, що виражає залежність площини піку від концентрації 14 вибухових речовин у пробі (мкг/кг), встановлюють методом абсолютної колібровки за 5 розчинами для калібрування. В інжектор хроматографу вводять 10 µl проби отриманої після екстракції. Виконують не менше двох паралельних вимірювання і знаходять середне значення площі хроматографічного піку для кожної концентрації.

Розрахунки та опрацювання результатів. Розрахунок масової концентрації вибухових речовин у екстракті $Cx_{i-\ екс}$ (мкг/мл) виконується за допомогою програмного забезпечення Chromeleon 6.80 автоматично з використанням отриманої градуювальної залежності. За результат дослідження видається середнє значення між двома паралельними дослідженнями.

2.2.4. Аналізування вибухових речовин у воді методом ГХ-МС (відповідно до ISO 11916-2:2013) [5]

Методом ГХ-МС не визначають термонестабільні та нелеткі вибухові речовини: октоген (HMX), гексоген (RDX), PETN (пентаеритриттетранітрат) та нітрогліцерин.

Підготовку газового хромато-мас-спектрометру виконують згідно з інструкцією на прилад та допоміжні пристрої хроматографічного комплексу.

Умови хроматографування. Аналізування проводили на газовому хроматографі з мас-спектрометричним детектором (ГХ-МС): AgilentTechnologies 7890B-MSD 5977B(Q).

Застосовано капілярну кварцеву колонку DB-5 (TR-5MS) (5% фенил) - поліметилсилоксан), 30 м × 0.32 мм (або 0,25 мм) × 0.25 мкм.

GC-MS method DRS.Scan. Температура інжектора 250ºC. Температура колонки 70ºC (2min) 20ºC/min до 270º (0 min). Температура інтерфейсу - 280ºC. Температура філаменту - 230ºC. Температура квадруполю - 150ºC. Ділення потоку 1:50, 50 мл/хв. Тиск газу-носія (гелій) - 60,7 кПа (постійний тиск). Full Scan 45-500 а.е.м.

Аналізування вибухових речовин методом ГХ-МС. 1 $см^3$ розчину вибухових речовин переносять у віали на 1.5 $см^3$ та аналізують методом капілярної газової

хромато-мас-спетрометрії в режимі повного сканування либо ГХ-МС (SIM) за вище приведених умов хроматографування. Склад отриманих мас-спектрів в умовах електронної іонізації (EI) молекул вибухових речовин використовується для подальшої ідентифікації та кількісного аналізу.

Ідентифікація та кількісна оцінка вибухових речовин з використанням аналітичних стандартів. Для підтвердження ідентифікації сполук проводять співставлення мас-спектрів сполук, що ідентифіковані, з мас-спектрами відповідних аналітичних стандартів, що приготовлені та хроматографовані за однакових умов. При співставленні спектрів необхідно дотримуватись наступних рекомендацій:

- запобігати перевантаження детектора

-хроматограми зразків повинні мати піки що відповідають по формі та часу утримання пікам градуювальних розчинів (при однакових концентраціях)

-співвідношення інтенсивностей характеристичних іонів (m/z) у мас-спектрі зразка повинно бути в межах ±30% співвідношення мас-іонів градуювальних розчинів.

Кількісне визначення вибухових речовин проводять за методом зовнішнього стандарту шляхом порівняння мас-хроматограм проби та стандартних розчинів, використовуючи градуювальну залежність.

2.3. Контроль якості вимірювання, вимоги до точності вимірювань та її приписні характеристики

Для підтвердження валідності процедури рекомендується використовувати відповідний робочий стандарт для контролю методу (наприклад, 2,5-DNT або інші відповідні сполуки, що відсутні у зразку). Якщо вибрати відповідний стандарт неможливо, ефективність екстракції слід регулярно перевіряти за допомогою сертифікованого стандартного зразка (CRM).

Необхідно визначати ступінь вилучення (*recovery rate*) для кожної окремої сполуки, наприклад, шляхом внесення добавок у зразки зі схожими матрицями паралельно з аналізом реальних проб або методом стандартних добавок. Визначені значення вилучення не включаються в розрахунок кінцевого результату. Таким чином, необхідно періодично здійснювати постійний контроль вилучення методу, охоплюючи весь аналітичний процес, включаючи всі етапи. Контрольні (еталонні) матеріали є належним інструментом для проведення таких експериментів. Загальний ступінь вилучення для кожної сполуки має становити від 70 % до 130 %.

Математичне коригування виміряних значень у зразках у разі низького вилучення не допускається. Для підтвердження відсутності забруднень під час процедури необхідно включати принаймні один «холостий» (бланк) аналіз на кожну серію проб. Для кожної серії зразків слід контролювати досяжність нижньої межі робочого діапазону за допомогою відповідного стандартного розчину. Співвідношення сигнал/шум для отриманих сигналів кожної сполуки має бути ≥ 10, в іншому випадку слід провести технічне обслуговування системи ВЕРХ (наприклад, заміну або промивання колонки).

2.4. Контролювання точності результатів вимірювань

Точність аналітичного методу оцінюється відповідно до вимог ISO 5725, ISO 21748, ISO 21749, Guide 98-3.

Умови збіжності визначають як умови, за яких отримують взаємно незалежні результати випробування одним і тим самим способом.

Умови відтворюваності результатів визначають як умови, за яких отримують результати випробувань, використовуючи один і той самий метод для ідентичного матеріалу в різних лабораторіях різними операторами, використовуючи різне устаткування.

Контроль ВЕРХ/УФ системи включає перевірку на наявність течі (щоденно).

Контроль чистоти розчинників проводять щоденно.

Контроль стану вузлів приладу: хроматографічна колонка-детектор, введенням 10 мкг/мл кофеїну (Fluka 58-08-2, 99.0%), при цьому відношення шум /сигнал складає не менше 1:10. Значення площини піку заноситься в таблицю. (щоденно).

Контроль чутливості детектора до визначуваних речовин здійснюється при отриманні результатів роботи хроматографічної системи в режимі «blank», а також результатів внутрішньолабораторного аналізу зразка ґрунту з додаванням суміші 14 вибухових речовин (або окремих компонентів) із вмістом кожної сполуки на рівні 5,0 та 10,0 мг/кг та обрахунку відсотка повернення (при кожному аналізі). Відсоток повернення = (С отримана/С створена)×100 %.

Приготування проби з додаванням вибухових речовин (спайкований зразок).

1. Стандартний зразок вноситься з розрахунку на кінцевий результат 10,0 мкг/дм^3. Наважка зразка для дослідження – 1000 см^3.

Розрахунок кількості аналіту в наважці:

1 дм^3 = 1000 см^3 (мл)

10,0 мкг стандарту – на 1000 см^3

2. Розрахунок кількості стандартного розчину з концентрацією 1000 мкг/мл:

в 1 мл – 1000 мкг

в X мл – 10 мкг

$X = (1 \times 10) / 1000 = 0{,}01$ мл (10 мкл)

Отже, до зразка 1000 $см^3$ води необхідно внести 0,01 мл (10 мкл) стандартного розчину з концентрацією 1000 мкг/мл.

Стандартний зразок вносять безпосередньо в матрицю за допомогою піпеткового дозатора, потім зразок готують за звичайною схемою пробопідготовки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Johno Breeze, R N Fryer, T-T N Nguyen , A Ramasamy, D Pope, S D Masouros.(2023). Injury modelling for strategic planning in protecting the national infrastructure from terrorist explosive events. BMJ Mil Health. 169(6):565-569. doi: 10.1136/bmjmilitary-2021-002052.

2. Oluwasesan Adegoke, Niamh Nic Daeid (2021). Colorimetric optical nanosensors for trace explosive detection using metal nanoparticles: advances, pitfalls, and future perspective. Emerg Top Life Sci. 5(3):367-379. doi: 10.1042/ETLS20200281.

3. Félix Zapata, Carmen García-Ruiz (2021). Chemical Classification of Explosives. Crit Rev Anal Chem. 51(7):656-673. doi: 10.1080/10408347.2020.1760783

4. Senthil Mary Celin, Bhumika Sharma, Pallvi Bhanot, Anchita Kalsi, Sandeep Sahai, Rajesh Kumar Tanwar (2023). Trends in environmental monitoring of high explosives present in soil/sediment/groundwater using LC-MS/MS. Mass Spectrom Rev. 42(5):1727-1771. doi: 10.1002/mas.21778

5. ISO 11916-2:2013. Soil quality — Determination of selected explosives and related compounds. Part 2: Method using gas chromatography (GC) with electron capture detection (ECD) or mass spectrometric detection (MS).

6. Jihun Jeong, Minju Koo, Joon-Goo Lee (2025). QuEChERS method development for the GC-MS analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in food. Food Sci Biotechnol. 34(12):2749-2761. doi: 10.1007/s10068-025-01910-2.

7. Richa Negi, Atul Kumar, Pallavi Bhardwaj (2025). Unveiling antibiotic residue contamination: assessing yak, dzomo, and hill cattle milk from himalayan region through QuEChERS-HPLC approach and health risk assessment. J Food Sci Technol. 62(4):635-643. doi: 10.1007/s13197-024-06048-3.

8. Senin, S.A.; Midyk, S.V.; Korniyenko, V.I.; Konovalova, O.Yu.; Berezovskyi, O.V.; Ladohubets, E.V.; Harkusha, I.V. Determination of Mycotoxins in Wheat Grain

by LC-MS/MS using Modified QuEChERS Sample Preparation. Methods Objects Chem. Anal., 2023, 18(1), 22-28. https://doi.org/10.17721/moca.2023.22-28

9. Senin, S.A., S.V. Midyk,V.I. Korniyenko, O.V. Machuskyy, Yu. S. Baranov, O.V. Zemtsova. Determination of Polychlorinated Biphenyls in Sunflower Oil by GC-MS Using Modified QuEChERS Sample Preparation. Methods Objects Chem. Anal., 2024, 19(4), p. 179-186. https://doi.org/10.17721/moca.2024.179-186

10. Xiaoping Pan (2021). Determination of the N-Nitroso Compounds in Mouse Following RDX Exposure. Methods Mol Biol. 2326:315-325. doi: 10.1007/978-1-0716-1514-0_23

11. Wojciech Pawłowski, Łukasz Matyjasek, Katarzyna Cieślak, Monika Karpińska (2017). Contamination with explosives in analytical laboratory procedure Forensic Sci Int. 281:13-17. doi: 10.1016/j.forsciint.2017.10.018.

12. Ahmed M Bendary Salem, Mohamed Ismail, Bolaji Oladipo (2025). Systematic analysis of post-blast organic traces in soil, application of color tests, TLC, GC-MS, and ITMS. J Chromatogr A. 12:1746:465776. doi: 10.1016/j.chroma.2025.465776.

13. Erik Holmgren, Stefan Ek, Anders Colmsjö. (2012). Extraction of explosives from soil followed by gas chromatography-mass spectrometry analysis with negative chemical ionization. J Chromatogr A. 2012 Jan 27:1222:109-15. doi: 10.1016/j.chroma.2011.12.014.

14. Salih Murat ÜNSAL, Emre ERKAN (2022). Development and validation of a new RP-HPLC method for organic explosive compounds Turk J Chem. 46(3):923–928. doi: 10.55730/1300-0527.3380

15. Harun Şener, Beril Anilanmert, Murat Emrah Mavis, Gokce Goksu Gursu, and Salih Cengiz. (2022). LC-MS/MS monitoring for explosives residues and OGSR with diverse ionization temperatures in soil & hands: 30 minutes for extraction + elution. Acta Chromatographica. 34 (2022) 3, 304–314 DOI:10.1556/1326.2021.00930

16. Praew Suppajariyawat, Jose Gonzalez-Rodriguez. (2021). Application of LC-QTOF/MS for the validation and determination of organic explosive residues on Ionscan® swabs. Sci Justice. 61(6):697-703. doi: 10.1016/j.scijus.2021.09.001.

17. SW-846 Test Method 8330A: Nitroaromatics and Nitramines by High Performance Liquid Chromatography (HPLC).

18. ISO 11916-1:2013 Soil quality – Determination of selected explosives and related compounds — Part 1: Method using high-performance liquid chromatography (HPLC) with ultraviolet detection

19. ISO 11916-3:2021 Soil quality – Determination of selected explosives and related compounds – Part 3: Method using liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS).

Науково-методичне видання

Мідик Світлана Вікторівна
Сенін Сергій Андрійович
Корнієнко Валентина Іванівна
Таран Тетяна Володимирівна
Альтанова Альона Борисівна

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН: НІТРОАРОМАТИЧНИХ СПОЛУК ТА НІТРОАМІНІВ (МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ)

Підписано до друку 02.10.2026р.
Ум. др. арк.1,3. Формат 60х84/16
Тираж 100 прим. Папір офсетний. Зам. №0210/2026-3
Свідотство ДК 5941 від 11.01.2018 р.
м. Київ, вул. Героїв Оборони, 8. Тел.: (050)411-66-51, (044)22-99-569
Видавництво
ДРУК НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ
www.science.org.ua