

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІШНІХ СПРАВ**

V Міжнародна наукова конференція

**МОРСЬКА БЕЗПЕКА
БАЛТО-ЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ:
ВИКЛИКИ ТА ЗАГРОЗИ**

*26 листопада 2025 року
м. Одеса*



Співорганізатори:

Військова академія (м. Одеса)

Інститут Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія»

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського

Одеський національний морський університет

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

Центр балтистики Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Державна установа «Інститут ринку і економіко-екологічних досліджень

Національної академії наук України»

Інститут кримінального права і прикладної кримінології (м. Кишинів)

Академія соціальних наук (м. Лодзь)

Ризький північний університет (м. Рига)

Балтійська міжнародна академія (м. Рига)

Науково-дослідний інститут публічного права

Міжнародна поліцейська асоціація

Центр українсько-європейського наукового співробітництва

3. Сучасні військові загрози у Балто-Чорноморському регіоні та протидія ним

Modeling the process of detecting sources of water pollution under modern military threats

Модельовання процесу пошуку джерел забруднення водних об'єктів в умовах сучасних військових загроз

Rashkevich Nina Vladyslavna

PhD, Associate Professor of the Department of State Supervision in the Field of Fire and Technogenic Safety of the Educational and Scientific Institute of Fire and Technogenic Safety

National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

Shevchenko Olha Stanislavivna

Candidate of Technical Sciences, Doctoral Researcher

National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

Krasnov Viacheslav Anatoliyovych

Adjunct Researcher

National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

Рашкевич Ніна Владиславна

PhD, доцент кафедри державного нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна

Шевченко Ольга Станіславна

кандидат технічних наук, докторант

Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна

Краснов Вячеслав Анатолійович

ад'юнкт

Військові дії створюють підвищену ймовірність раптового та масштабного забруднення водних об'єктів, що виникає внаслідок руйнування промислових, транспортних та інженерних об'єктів, порушення роботи інфраструктури та вторинних техногенних процесів [1]. Забруднення розвивається у складному, динамічному та невизначеному середовищі, де масштаби та форми уражень змінюються у часі та просторі. Традиційні методи моніторингу водних об'єктів не забезпечують необхідної оперативності та охоплення, що знижує ефективність реагування та підвищує ризик екологічних збитків. У таких умовах необхідно оперативно виявляти джерела забруднення, враховуючи динаміку поширення домішок, ефективність пошукових процедур, ресурсні, часові та геопросторові обмеження.

Аналіз наукових робіт у цій сфері дозволяє виокремити основні підходи та тенденції. Зокрема, в роботі [2] досліджено формування інформаційної QR-технології моніторингу стану поверхневих вод на територіях, які постраждали внаслідок бойових дій, показавши важливість інтеграції оперативних даних для оцінки стану водних об'єктів. Дослідники [3] провели аналіз сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з небезпекою ґрунтових вод, та визначили фактори ризику і методи їх контролю. У подальших роботах [4] сформуvalи математичну модель для оцінки небезпечного впливу на стан ґрунтових вод міських агломерацій під час ракетно-артилерійських уражень. В роботі [5] запропоновано підходи для попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних із забрудненням водних об'єктів у зонах бойових дій, підкресливши роль оперативного моніторингу та координації ресурсів.

Для опису динаміки поширення забруднень у водних об'єктах позначимо концентрацію забруднюючих речовин у водному середовищі як $C(x, t)$, де $x \in \Omega$ – координати в акваторії, а t – час. Зміни концентрації визначаються природними процесами перенесення, дифузії, осадження та додатковими впливами зовнішніх негативних факторів $W(x, t)$:

$$\frac{dC}{dt} = F(C, x, t) + W(x, t), \quad (1)$$

де $F(C, x, t)$ – функція, що описує внутрішню динаміку поширення забруднення; $W(x, t)$ – додаткові зовнішні впливи, що пов’язані з військовими діями або небезпечними подіями.

Стан системи моніторингу, зокрема безпілотних літальних апаратів (БПЛА), описується змінною $M(t)$, яка характеризує їхню працездатність та покриття території. Динаміка стану системи визначається:

$$\frac{dM}{dt} = G(M, t) - H(u, t), \quad (2)$$

де $G(M, t)$ – автономна динаміка систем без зовнішнього втручання; $H(u, t)$ – ефект керуючих дій $u(t)$ для підтримання працездатності та оптимізації пошуку.

Процес виявлення джерел забруднення описується функцією щільності виявлення аномалій $p(x, t)$ та функцію покриття території БПЛА $\sigma(x, t)$. Ефективність пошукових процедур у часі $S(t)$ залежить від тривалості польоту, маршруту та енергоресурсів платформ. Оптимальна стратегія пошуку визначається максимізацією інтегралу покриття з урахуванням щільності виявлення:

$$\max_{\gamma(t)} \int_{\Omega} p(x, t) \sigma(x, t) dx, \quad (3)$$

де $\gamma(t)$ – параметри керування траєкторіями пошукових засобів. Спад ефективності покриття у часі моделюється експоненційно:

$$\sigma(t) = \sigma_0 e^{-\lambda t}, \quad (4)$$

λ – константа зниження ефективності, а σ_0 – початкове покриття.

Завдання управління процесом пошуку та реагування формулюється як мінімізація інтегрального екологічного збитку:

$$J = \int_{t_0}^{t_f} [R(t) + aS^{-1}(t) + \beta \|u(t)\|] dt, \quad (5)$$

де $R(t) = \Phi(C(t), M(t))$ – рівень небезпеки; $S(t)$ – ефективність пошуку; $u(t)$ – керуючі дії; a, β – вагові коефіцієнти, що визначають пріоритети пошуку та реагування.

Граничні умови моделі включають:

1. Часові межі реагування:

$$t_0 \leq t \leq t_f, \quad (6)$$

де t_0 – початок спостереження або реагування, t_f – момент досягнення стабілізації або завершення операції.

2. Технічні обмеження БПЛА:

$$0 \leq t \leq T_{\text{політ}}, \quad E(t) \geq E_{\min}, \quad (7)$$

де $T_{\text{політ}}$ – максимально допустимий час безперервного польоту, $E(t)$ – поточний запас енергії, $E_{\min}$ – мінімально необхідний рівень енергії для виконання завдання.

3. Геопросторові межі зони спостереження:

$$x \in \Omega. \quad (8)$$

4. Обмеження на управлінські рішення:

$$\|u(t)\| \leq u_{max}, \quad (9)$$

де $u(t)$ – керуючі впливи на системи моніторингу та пошуку, u_{max} – максимально допустима величина цих впливів.

Ефективність пошуку джерел забруднення залежить від стану технічних систем, маршрутів огляду та ресурсних обмежень і визначає швидкість виявлення, точність локалізації забруднень та своєчасність прийняття управлінських рішень для мінімізації екологічних збитків.

Література:

1. Вовчук Т., Лобойченко В., Рашкевич Н., Шевченко О., Шевченко Р. Формування інформаційної QR – технології моніторингу стану поверхневих вод на територіях, які постраждали внаслідок бойових дій. Scientific foundations in research in Engineering: collective monograph / Korniylo I., Gnyp O. etc. International Science Group. Boston : Primedia eLaunch. 2022. 709 p.
2. Рашкевич Н.В., Мирошник О.М., Шевченко Р.І. Аналіз сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій пов'язаних з небезпекою ґрунтових вод. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація. 2023. Т. 7, № 2. С. 193–216.
3. Рашкевич Н.В., Шевченко Р.І., Вовчук Т.С. Формування математичної моделі аналізу небезпечного впливу на стан ґрунтових вод міських агломерацій від ракетно-артилерійських уражень. Комунальне господарство міст. 2024. Т. 1, вип. 182. С. 229–240.
4. Бондаренко А.Ю., Рашкевич Н.В., Лобойченко В.М., Шевченко Р.І. Інноваційні підходи в попередженні надзвичайних ситуацій, пов'язаних із забрудненням водних об'єктів населених пунктів, де відбувались бойові дії: мат. І Міжнар. наук.-практ. конф. «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій - 2022». Полтава, 2022. С. 500–502.
5. Рашкевич Н.В. Визначення основних джерел забруднення ґрунтів та водних ресурсів під час військових конфліктів: мат. Міжнар. наук.-практ. конф. «Problems of Emergency Situations». Черкаси: НУЦЗ України, 2025 р. С. 119–120.