

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ В УПРАВЛІННІ ЕКОЛОГІЧНИМИ РИЗИКАМИ

Грицуляк Г. М., Качала С. В., Лопушняк В. І.,
Фомічова О. В., Коцюбинський А. О.

Івано-Франківський національний університет нафти і газу

У статті обґрунтовано доцільність застосування методів системного аналізу для кількісної оцінки та управління екологічними ризиками на локальному рівні. Об'єктом дослідження є рекреаційна територія с. Брусниця Чернівецької області, що характеризується підвищеною чутливістю природних компонентів до антропогенного впливу в умовах сезонного рекреаційного навантаження. Для оцінювання екологічних ризиків використано матричний підхід, заснований на інтегральному показнику ризику як добутку ймовірності настання небезпечної події та тяжкості її наслідків. Проведено ідентифікацію та ранжування шести пріоритетних ризикових подій, пов'язаних зі станом поверхневих і підземних вод, ґрунтів, поводженням з відходами, рекреаційним навантаженням і транспортними викидами. Встановлено, що найвищий рівень

екологічного ризику характерний для поверхневих вод унаслідок скидання недостатньо очищених побутових стічних вод, тоді як найменший – для атмосферного повітря. За результатами досліджуваного аналізу показано, що реалізація комплексу природоохоронних заходів (модернізація систем водовідведення, удосконалення поводження з відходами, захист прибережної смуги) дає змогу знизити сумарний рівень екологічного ризику на 23–30 %. Отримані результати підтверджують ефективність системного підходу як інструменту обґрунтування управлінських рішень у сфері екологічної безпеки рекреаційних територій локального

Ключові слова: екологічні ризики, системний аналіз, метод оцінювання ризику, екологічна безпека, рекреаційні території, методи та технології захисту навколишнього середовища.

APPLICATION OF SYSTEMS ANALYSIS METHODS IN ENVIRONMENTAL RISKS MANAGEMENT

Hrytsulyak G. M., Kachala S. V. Lopushniak V. I.
Fomichova O. V., Kotsyubynsky A. O.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

The article substantiates the expediency of applying methods of system analysis for quantitative assessment and management of environmental risks at the local level. The object of the research is the recreational area of the village. Blackberry of Chernivtsi region, which is characterized by increased sensitivity of natural components to anthropogenic influence in conditions of seasonal recreational load.

A matrix approach based on the integrated risk indicator as a product of the probability of occurrence of a dangerous event and the severity of its consequences is used to assess environmental risks. The identification and ranking of six priority risk events related to the state of surface and underground water, soil, waste management, recreational load and transport emissions was carried out. It was established that the highest level of environmental risk is characteristic of surface water due to the discharge of insufficiently treated domestic wastewater, while the lowest level is for atmospheric air.

According to the results of the researched analysis, it is shown that the implementation of a complex of environmental protection measures (modernization of drainage systems, improvement of waste management, protection of the coastal strip) makes it possible to reduce the total level of environmental risk by 23–30%.

The obtained results confirm the effectiveness of the system approach as a tool for justifying management decisions in the field of environmental safety of recreational areas at the local level

Keywords: environmental risks, system analysis, risk assessment method, environmental safety, recreational areas, methods and technologies of environmental protection.

Постановка проблеми

В умовах зростання антропогенного навантаження на довкілля та посилення наслідків зміни клімату проблема управління екологічними ризиками набуває особливої актуальності. Території з рекреаційно-санаторною спеціалізацією характеризуються підвищеною чутливістю природних компонентів до впливу господарської діяльності, оскільки якість довкілля безпосередньо визначає їх лікувально-оздоровчий потенціал та соціально-економічну привабливість.

Сучасні підходи до екологічної безпеки ґрунтуються на необхідності переходу від фрагментарного контролю окремих факторів впливу до комплексного аналізу системи «природне середовище – господарська діяльність – населення». У цьому контексті особливого значення набуває застосування методів системного аналізу, які дозволяють враховувати взаємозв'язки між компонентами довкілля, імовірність настання небезпечних подій та тяжкість їх наслідків.

Актуальність дослідження посилюється для малих населених пунктів рекреаційного типу, де сезонне зростання кількості відвідувачів спричиняє пікові навантаження на системи водовідведення, поводження з відходами та використання природних ресурсів. Відсутність належного управління такими процесами призводить до формування локальних екологічних ризиків, що загрожують водним екосистемам, ґрунтовому покриву та санітарно-гігієнічному стану території.

У зв'язку з цим виникає необхідність застосування кількісних інструментів оцінювання екологічних ризиків, які б дозволяли визначати пріоритетні проблеми та обґрунтовувати управлінські

рішення. Одним із таких інструментів є матричні методи оцінювання ризику, що поєднують імовірність виникнення небезпечної події та тяжкість її наслідків у межах системного підходу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У науковій літературі питання екологічного ризику та управління екологічною безпекою територій розглядаються як ключовий інструмент переходу від реагування на наслідки до попередження небезпечних подій. У сучасних дослідженнях екологічний ризик найчастіше трактується як поєднання ймовірності виникнення небезпечної події та тяжкості її можливих наслідків для компонентів довкілля і населення.

Саме тому значну увагу приділяють кількісним та напівкількісним підходам оцінювання, що дозволяють порівнювати ризики між собою, встановлювати пріоритетність та планувати заходи мінімізації [1, 5].

Окремий блок публікацій присвячений застосуванню методів системного аналізу в екології та природокористуванні. Системний підхід розглядає територію як складну систему з взаємопов'язаними підсистемами (водні ресурси, ґрунти, атмосфера, біота, техногенні об'єкти, соціально-економічні чинники), у якій зміни одного елемента здатні запускати «ланцюгові» ефекти. Відповідно, системний аналіз дає змогу:

- структурувати джерела ризику та «точки вразливості»;
- виділяти причинно-наслідкові зв'язки між впливами й станом компонентів довкілля;
- формувати сценарії розвитку ситуації та оцінювати ефективність управлінських рішень.

У практично орієнтованих дослідженнях широко застосовують матричні методи оцінки ризику, оскільки вони зрозумілі для впровадження на локальному рівні, не потребують надмірної кількості вхідних даних і водночас забезпечують ранжування загроз. Типовим є використання інтегрального показника R , що визначається як добуток ймовірності настання події (P) та тяжкості наслідків (S). Такий підхід лежить в основі оцінювання екологічних ризиків, реалізованого і в даному дослідженні: застосовано матричну модель $R = P \times S$ із експертним шкалюванням показників P і S у діапазоні 1–4 [2, 4, 10].

Перевагою матричних методів є можливість виділення зон критичності, побудови карти/матриці ризиків і подальшого переходу до управлінських рішень.

Значна кількість публікацій присвячена оцінюванню ризиків у зонах інтенсивного антропогенного навантаження: промислових агломераціях, територіях впливу енергетичних об'єктів, транспортних вузлах. Вітчизняні дослідження демонструють ефективність комплексного аналізу екологічного стану для виявлення чинників ризику та формування заходів екологічної безпеки. Зокрема, здійснено оцінку екологічної ситуації в зоні впливу Бурштинської ТЕС, що підкреслює важливість інтегрального бачення ризиків та необхідність їх управління на основі обґрунтованих показників [3, 8, 11].

Разом із тим, аналіз сучасних публікацій свідчить, що локальні рекреаційні території (особливо малі населені пункти з сезонним зростанням навантаження) нерідко залишаються поза достатньо деталізованим кількісним аналізом. Для таких територій характерні специфічні ризики, пов'язані з піковими обсягами водовідведення, локальними джерелами забруднення, поведінням з побутовими відходами, рекреаційним тиском та викидами транспорту. У представленому дослідженні саме ці фактори були закладені в основу визначення пріоритетних ризикових подій (водокористування, ґрунти, відходи, рекреаційне навантаження, транспорт), що відповідає сучасній логіці ризик-орієнтованого управління територіями [4, 9, 12].

Окремої уваги заслуговує напрям досліджень, пов'язаний з аналізом у системі управління ризиками: порівняння «базового» сценарію з альтернативними сценаріями впровадження природоохоронних заходів, оцінка очікуваного ефекту та пріоритетності інвестицій.

У даній роботі сценарний підхід демонструє практичну цінність: показано, що за умови реалізації комплексу заходів (модернізація водовідведення, контроль відходів, захист прибережної смуги) сумарний рівень ризику може бути знижений з 63 до 48 умовних одиниць (тобто орієнтовно на 23–30%). Це підсилює аргументацію щодо необхідності системного аналізу не лише для «діагностики» проблем, а й для обґрунтування управлінських рішень [6, 9, 14].

Таким чином, попри наявність значної кількості праць щодо екологічних ризиків і системних методів їх оцінювання, залишається актуальним завдання адаптації цих підходів до умов рекреаційних територій локального рівня, де ризики формуються на стику «водокористування–стоки–сезонне навантаження – чутливість природних об’єктів». Саме ця науково-прикладна прогалина й зумовлює необхідність проведення дослідження із застосуванням матричного підходу та елементів сценарного аналізу для обґрунтування пріоритетів екологічної безпеки території.

Визначення цілей статті (постановка завдання)

Метою статті є обґрунтування доцільності застосування методів системного аналізу для кількісної оцінки та управління екологічними ризиками на локальному рівні на прикладі рекреаційної території с. Брусниця Чернівецької області. Для досягнення поставленої мети передбачено ідентифікацію пріоритетних джерел і факторів екологічного ризику для основних компонентів довкілля досліджуваної території, здійснення їх кількісної оцінки з використанням матричного

підходу, що базується на визначенні імовірності настання ризикової події та тяжкості її наслідків, проведення ранжування виявлених ризиків за рівнем небезпеки, а також виконання досліджуваного аналізу впливу природоохоронних заходів на зміну сумарного рівня екологічного ризику з метою обґрунтування пріоритетних управлінських рішень щодо зниження екологічної небезпеки території.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для кількісної оцінки екологічних ризиків у с. Брусниця Чернівецької області застосовано матричний підхід, що базується на добутку імовірності настання події (P) та тяжкості її наслідків (S). Оцінювання проведено для шести пріоритетних ризикових подій, пов’язаних із водокористуванням, станом ґрунтів, поводженням з відходами, рекреаційним навантаженням та транспортними викидами. Значення показників P і S варіювалися в діапазоні від 1 до 4 відповідно до експертної шкали. З урахуванням гідрографії (наявність річки) та рекреаційно-санаторного профілю (мінеральні води, лікування) було виділено 6 пріоритетних ризиків:

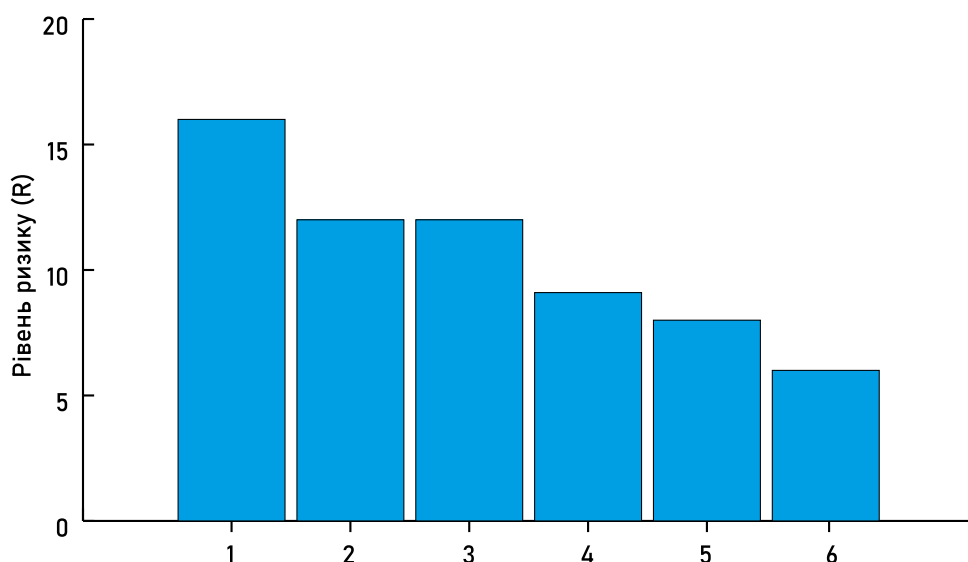


Рисунок 1. Рівні екологічного ризику за основними компонентами довкілля с. Брусниця.

Примітка:

1. Викиди автотранспорту
2. Надмірне використання мінеральних вод
3. Ерозія берегів та замулення
4. Незаконне накопичення відходів
5. Забруднення ґрунтів і підземних вод
6. Скидання недостатньо очищених стічних вод у річку

Матриця екологічних ризиків (с. Брусниця)

№	Ризикова подія/фактор	Компонент довкілля	P	S	R=P×S	Рівень
1	Потрапляння недостатньо очищених/ побутових стоків у водотоки (сезонний пік)	вода (р. Брусниця)	4	4	16	критичний
2	Забруднення ґрунтів і ґрунтових вод через негерметичні вигрібні ями/септики	ґрунт/ підземні води	4	3	12	високий
3	Накопичення/спалювання відходів (локальні стихійні смітники)	повітря/ ґрунт	3	4	12	високий
4	Порушення прибережної смуги, ерозія, замулення (змив з доріг/угідь)	вода/біота	3	3	9	помірний
5	Ризики надмірного водокористування/ неправильного поводження з мінеральними водами (в т.ч. рекреаційне навантаження)	підземні води	2	4	8	помірний
6	Локальні викиди від транспорту (дорога + під'їзди до рекреації)	повітря	3	2	6	помірний

- середнє значення: 10,5
- медіана: 10,5
- мінімальне значення: 6
- максимальне значення: 16
- стандартне відхилення: 3,56

Помірне значення стандартного відхилення свідчить про неоднорідність розподілу ризиків

між окремими компонентами довкілля. Це підтверджує доцільність диференційованого підходу до управління екологічною безпекою території.

– найвищий рівень ризику припадає на поверхневі води ($R = 16$), що зумовлено надходженням недостатньо очищених побутових стоків у р. Брусниця;

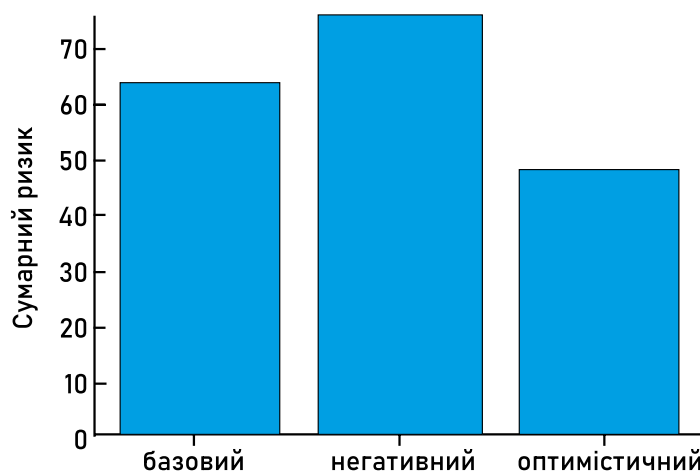


Рисунок 2. Сценарний аналіз сумарного рівня ризику

- високі значення ризику зафіксовані для ґрунтів і поведження з відходами ($R = 12$);
- найменший рівень ризику характерний для атмосферного повітря, пов'язаного з локальними транспортними викидами ($R = 6$).

Найвищий ризик (№1) пов'язаний із тим, що рекреаційні/санаторні об'єкти та приватний сектор створюють пікове навантаження на водовідведення; за наявності водотоку навіть короточасні скиди/підтікання швидко формують екологічні й санітарні наслідки.

Рекреаційна специфіка Брусниці (лікувальні мінеральні води, санаторій) підсилює вимоги до якості середовища й управління стоками/відходами, бо територія «працює» як оздоровча.

Результати оцінювання екологічних ризиків для с. Брусниця свідчать, що найвищий рівень небезпеки пов'язаний зі скиданням недостатньо очищених побутових стічних вод у річку Брусниця ($R = 16$).

Це зумовлює підвищене навантаження на водні екосистеми та створює загрози санітарно-гігієнічному стану території.

Суттєві ризики також встановлено для забруднення ґрунтів і підземних вод ($R = 12$) та накопичення побутових відходів ($R = 12$), що є типовими проблемами для рекреаційних територій із сезонним зростанням кількості відвідувачів.

Сценарний аналіз показав, що за умови реалізації комплексу природоохоронних заходів (модернізація систем водовідведення, контроль поведження з відходами, захист прибережної смуги) сумарний рівень екологічного ризику може бути знижений з 63 до 48 умовних одиниць, що відповідає скороченню на 23–30 %.

Таким чином, результати дослідження підтверджують доцільність застосування системного підходу для екологічної оцінки

Апробація системного аналізу для с. Брусниця показала, що критичні ризики формуються на стику водокористування – стоки – сезонне рекреаційне навантаження при наявності місцевого водотоку (р. Брусниця) та санаторного кластера, пов'язаного з мінеральними (сульфідними) водами.

Системний підхід дозволив кількісно пріоритизувати ризики й обґрунтувати пакет управлінських рішень, що знижує інтегральний рівень ризику приблизно на 20–30%.

Висновки та перспективи подальших досліджень

У роботі обґрунтовано доцільність застосування методів системного аналізу для кількісної оцінки та управління екологічними ризиками на локальному рівні на прикладі рекреаційної території с. Брусниця Чернівецької області. Використання матричного підходу на основі інтегрального показника ризику $R = P \times S$ дало змогу ідентифікувати пріоритетні ризикові події, провести їх ранжування та визначити найбільш уразливі компоненти довкілля.

Встановлено, що критичний рівень екологічного ризику характерний для поверхневих вод р. Брусниця, що пов'язано зі скиданням недостатньо очищених побутових стічних вод у періоди пікового рекреаційного навантаження ($R = 16$). Високі рівні ризику зафіксовано також для забруднення ґрунтів і підземних вод та поведження з побутовими відходами ($R = 12$). Найменший рівень ризику притаманний атмосферному повітрю, що зумовлено переважно локальним характером транспортних викидів ($R = 6$).

Аналіз показав, що реалізація комплексу природоохоронних заходів (модернізація систем водовідведення, посилення контролю за поведженням з відходами, захист прибережної смуги водотоку) дозволяє знизити сумарний рівень екологічного ризику приблизно на 23–30 %, що підтверджує ефективність системного підходу не лише для діагностики екологічних проблем, а й для обґрунтування управлінських рішень.

Отримані результати свідчать, що для рекреаційних територій локального рівня екологічні ризики формуються переважно на стику факторів водокористування, водовідведення та сезонного антропогенного навантаження за наявності чутливих природних об'єктів. Застосування методів системного аналізу забезпечує можливість кількісного порівняння ризиків, їх пріоритизації та переходу до ризик-орієнтованого управління екологічною безпекою.

Перспективи подальших досліджень доцільно пов'язати з удосконаленням методів кількісної оцінки екологічних ризиків шляхом залучення інструментів геоінформаційного аналізу, розширення переліку індикаторів стану довкілля та використання багатокритеріальних моделей при-

йняття рішень. Актуальним напрямом є також поєднання системного аналізу з моніторинговими даними та прогнозними моделями для оцінювання довгострокових наслідків рекреаційного навантаження і змін клімату.

Отримані підходи можуть бути адаптовані для інших рекреаційних та малих населених пунктів з подібною природно-господарською специфікою, що сприятиме формуванню науково обґрунтованої системи управління екологічними ризиками на місцевому рівні.

Список використаної літератури

1. Пендерецький О.В. Оцінка екологічної ситуації в зоні впливу Бурштинської ТЕС : дис. ... канд. техн. наук: спец. 21.06.01. – Івано-Франківськ, 2005. – Т. 1. – С. 202.
2. Д'яченко Н.О., Дятел О.О. Вугільна промисловість: оцінка впливу на довкілля та поводження з відходами. Гірнична геологія та геоecологія № 1 (2020). С. 60–72.
3. Ushcats S.Yu., Mihelev I.L., Zholobenko N.Yu., Markina L.M. Determination of morphological composition of municipal solid waste for Mykolayiv city (Ukraine) and forecasting of their accumulation in the future. *Environmental Sciences*. 2022 № 4(43). С. 190–196.
4. Теорія систем і системний аналіз : навчальний посібник / О.А. Балтовський, К.Ю. Ісмаїлов, О.І. Сіфоров, Г.В. Форос, О.М. Заєць ; за заг. ред. Балтовського О.А. Одеса : РВВ ОДУВС. 2021, 156 с.
5. Приходько В.Ю., Сафранов Т.А., Шаніна Т.П. Сучасний стан сфери управління та поводження з твердими побутовими відходами в Україні. *Man and Environment. Issues of Neoeology*. 2019, Issue 32. Р. 58–66.
6. Мельніченко І.О., Лебідь І.Г., Ткаченко В.А. Системний аналіз управління комунікаціями в освітніх проєктах. *Управління розвитком складних систем*. № 41. 2020. С. 28–34.
7. Khrutba V. O., Antonenko T. V. System analysis project management communication in waste management. *Proceedings of the National Transport University*. Kyiv : NTU. 2015. Vol. 32. P. 312–320.
8. Yermeyev I., Dychko A., Lytvynenko V. Complex ecological informational system's deviations and their optimization. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Випуск 3/2021 (128). С. 45–50.
9. Сіпаков Р.В. Удосконалення управління екологічним ризиком від забруднення атмосферного повітря на автошляхопроводах урбанізованих територій (на прикладі м. Києва) : дис. канд. техн. наук : 21.06.01. Київ, 2021. 216 с.
10. Медведєва О., Кропивний В., Мірзак Т., Немировський Я. Системний аналіз якості навколишнього середовища: навчальний посібник для студентів спеціальності 101 «Екологія». Кропивницький: Центральноукраїнський національний технічний університет. 2021. 80 с.
11. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року: схв. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8.11.2017 р. № 820-р.
12. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2020 рік. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sferypovodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za2020-rik-2>
13. Проєктний менеджмент: управління ризиками та змінами в процесах прийняття управлінських рішень : монографія / О. Б. Данченко, В. О. Занора. Черкаси : ПП Чабаненко Ю. А., 2019. 278 с.
14. Основні показники утворення та поводження з відходами. Головне управління статистики у Харківській області. URL: <http://kh.ukrstat.gov.ua/index.php/dynamikaosnovnykh-pokaznykiv-utvorennia-ta-povodzhennia-zvidkhodam>.