

УДК 504

## ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ЕКОСИСТЕМНИМИ РИЗИКАМИ МОРЯ

В. М. Коморін

НДУ «Український науковий центр екології моря»,  
Французький бульвар, 89, 65009, Одеса, Україна, vkomorin@gmail.com

У контексті загострення антропогенного впливу, змін клімату та стихійних лих, набувають важливості завдання, пов'язані з управлінням екосистемними ризиками морських акваторій. Ця робота ставить за мету сформулювати сучасні теоретико-методологічні основи цього наукового напрямку на основі аналізу та оцінки актуальних концепцій та стратегій.

Стаття включає в себе аналіз основних термінів та принципів, а також представляє концептуальну модель теорії управління екосистемними ризиками моря, що відіграє ключову роль, оскільки відображає основні компоненти теорії та їх взаємозв'язки. Модель сприяє кращому розумінню структури та особливостей цієї теорії, підкреслюючи складність взаємодій між соціально-економічними системами та морськими екосистемами, а також ризики, які виникають в результаті цих взаємодій. Основні елементи моделі включають такі фактори, як природні та антропогенні чинники, враховуючи їх вплив на стан морських екосистем та пов'язані з ними ризики. Модель також акцентує увагу на здоров'ї, стабільності екосистем та біорізноманітті як визначальних параметрах стану та функціонування морських екосистем.

Здійснено порівняльний аналіз різних методологій та стратегій управління екосистемними ризиками, що визначило найефективніші з них на окремих етапах створення оптимальної стратегії управління екосистемними ризиками. Стратегії управління ризиками можуть бути впроваджені за допомогою різноманітних інструментів, таких як морське просторове планування, створення морських заповідних зон, базове екосистемне управління, управління ресурсами, а також системи управління якістю морського довкілля, розробленої відповідно до вимог Директиви ЄС з морської стратегії. Ці стратегії інтегрують різні підходи до управління екосистемними ризиками, сприяючи збереженню екосистем і забезпеченню стабільності морського середовища.

Проведена робота також відкриває перспективи для подальших наукових досліджень, зокрема, розробки гіпотез з метою підвищення теоретичних знань та розробки практичних рекомендацій у сфері управління екосистемними ризиками морських акваторій.

Висновки дослідження спрямовані на створення теоретико-методологічної бази, що сприятиме аналізу та розробці ефективних стратегій управління екосистемними ризиками в морських акваторіях.

**Ключові слова:** екосистемні ризики; управління ризиками; морські акваторії; екологічні соціально-економічні системи; стійкість морських екосистем; концептуальна модель; стратегії управління.

---

### 1. ВСТУП

Актуальність роботи пов'язана з тим, що значна частина світового населення (близько 40%), що проживає в прибережних зонах, залежить від морських ресурсів [1]. При цьому 60% морських екосистем вже зазнали відчутних пошкоджень від людської діяльності. Протистояти цьому виклику допоможе розробка та застосування ефективних методів оцінки та управління екосистемними ризиками. Проте, на сьогодні не існує єдиної теорії управління екосистемними ризиками. Є потреба у подальшому вивченні теоретичних основ,

методологічного інструментарію для практичного застосування управління екосистемними ризиками моря, що дозволить досягнути цілей сталого розвитку океану та морів, а також впоратися зі зміною клімату.

Метою роботи є формування сучасних теоретико-методологічних основ науково-практичного напрямку, пов'язаного із створенням та функціонуванням системи управління екосистемними ризиками моря на базі аналізу та оцінки актуальних концепцій та стратегій управління якістю морського середовища.

Для досягнення мети вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз основних термінів та принципів;
- створено концептуальну модель теорії управління екосистемними ризиками моря, визначені основні компоненти моделі та їх взаємозв'язки;
- здійснено порівняльний аналіз існуючих методологій та стратегій управління екосистемними ризиками;
- розроблено наукові гіпотези, пов'язані із теорією та методологією управління екосистемними ризиками з метою підвищення теоретичних знань та розробки практичних рекомендацій у сфері управління екосистемними ризиками морських акваторій.

Об'єктом дослідження є система управління екосистемними ризиками моря з використанням методів математичного моделювання та теорії динамічних систем.

Предметом дослідження є процедури та механізми методу створення оптимальної стратегії управління екосистемними ризиками на основі математичного моделювання з урахуванням положень теорії динамічних систем.

Для початку розглянемо взаємозв'язок поняття "екосистемний ризик" та "екологічний ризик". Розвиток терміну "екосистемний ризик" відбувався поступово, паралельно з поглибленням нашого розуміння екосистем та їхньої вразливості до антропогенного впливу [2]. Першою стадією була концепція "екологічний ризик", яка зосереджувалася на впливі окремих забруднювачів або інших факторів на окремі складові екосистеми [3]. Ця концепція включала наступні ключові компоненти [4, 5, 6]:

- **"стресор"** – потенційно шкідливий фактор, що може впливати на екосистему; може бути хімічною речовиною, фізичним фактором, біологічним агентом або комбінацією цих факторів;
- **"рецептор"** – організми, групи організмів або цілі екосистеми, які можуть бути під впливом стресора;
- **"наслідки"** – потенційні зміни в рецепторах внаслідок впливу стресора; можуть бути прямі або непрямі і включати шкоду людському здоров'ю, екосистемам або втрату біорізноманіття;
- **"ймовірність"** – шанс, що стресор спричинить певні наслідки;
- **"невизначеність"** – визнання обмежень у нашому знанні про екологічні ризики;

може виникати через недостатність даних, варіативність природних систем або неоднозначність у наукових моделях і прогнозах.

Концепція підкреслює важливість системного підходу до ідентифікації і управління ризиками. Але з появою визнання взаємозв'язку та складності екосистем з'явилась потреба розширити визначення ризику, щоб включити більш широкий екологічний контекст [7].

Екосистемний ризик початково визначався як потенційні шкідливі наслідки для екосистем, потім і для екосистемних послуг, які вони надають. Він зосереджувався на негативному впливі на біорізноманіття, видовий склад, структуру та функціонування екосистем.

Але це визначення еволюціонувало. Воно тепер включає не лише екологічні аспекти, а й соціально-економічні [8]. Враховується вплив на благополуччя людини і сталий розвиток, оскільки екосистеми мають важливу цінність не тільки самі по собі, а й є корисними для людей.

Сучасні визначення екосистемного ризику тепер охоплюють потенційну шкоду для екосистем, а також можливі наслідки для суспільств, які залежать від екосистемних послуг.

Екосистемний ризик в даний час визначається як комплексне розуміння складних взаємодій та взаємозалежностей у межах екосистем, а також різних стресорів і факторів, які можуть порушити їх функціонування [9]. Враховується вразливість екосистем перед різними загрозами, такими як забруднення, втрата середовища існування, перелов рибних ресурсів, поширення інвазивних видів, зміна клімату і т. ін. Екосистемний ризик підкреслює необхідність профілактичного управління та збереження стратегій для підтримки здоров'я, стійкості та сталого розвитку екосистем.

Таким чином, екологічний ризик і екосистемний ризик є двома пов'язаними, але різними поняттями. Екологічний ризик відноситься до потенційної шкоди для окремих компонентів екосистеми в результаті діяльності людини, тоді як екосистемний ризик відноситься до ризиків для здоров'я і стабільності екосистем в цілому. Обидві концепції вимагають всебічного розуміння складних взаємодій між діяльністю людини та екосистемами, а також ефективних стратегій управління ризиками, що впроваджують системний підхід до аналізу та вирішення екологічних викликів.

Концепція екологічних економо-соціальних систем включає в себе декілька ключових

елементів, що тісно пов'язані між собою: екосистемні функції, екосистемні послуги та вигоди для людей.

**Екосистемні функції** представляють потенціал екосистеми надавати корисні послуги. Це може включати різноманітні процеси та властивості екосистеми, такі як цикли речовин та енергії, здатність до самовідновлення після нанесених пошкоджень та здатність підтримувати біорізноманіття на певному рівні.

**Екосистемні послуги** – це конкретні блага або послуги, які люди отримують від екосистем. Вони можуть включати морські ресурси (наприклад, морепродукти), а також регулюючі послуги, такі як очищення води, запобігання зсувам ґрунту, або культурні послуги, такі як рекреація та натхнення для мистецтва та розвитку культури.

**Вигоди для людей** – це користь, яку люди отримують від екосистемних послуг. Це може бути фізичне здоров'я від чистого повітря та води, безпека від небезпеки зсуву ґранту, економічна користь від продуктів екосистем або психологічні та культурні вигоди від природи, яка додає значення нашому життю.

Концепція також включає увагу до впливів людини на ці складові. Безпосереднє використання екосистемних послуг, таке як вилов риби або будівництво гідроспоруд, може мати вплив на їх подальшу доступність. Опосередкований вплив через діяльність людини, таку як, наприклад, забруднення, також може мати значущий вплив на екосистемні функції та послуги.

## 2. ОПИС МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі використано методи аналізу термінів та принципів, які складають основу теорії системи управління екосистемними ризиками.

Для класифікації та опису екосистемних ризиків моря використовується системний аналіз. Цей метод дозволяє систематизувати наявні дані та інформацію, використовуючи об'єктивні та науково обґрунтовані критерії [10].

Методологічний підхід дослідження також включає використання математичних методів та сучасних інформаційних технологій. Зокрема, запропоновано алгоритм використання існуючих програм для математичного моделювання задач управління екосистемними ризиками в морських акваторіях [11].

Щодо вивчення стабільності морських екосистем, в даному дослідженні застосовується

підхід, заснований на аналізі стійкості за показниками Ляпунова [12]. Даний метод використовує математичні моделі екосистем для оцінки якості моделі біологічного угруповання або екосистеми та її здатності відповідати на запитання про стійкість реального угруповання.

В основі підходу, представленого в цій роботі, лежить модифікація методу DPSIR (Drivers-Pressures-State-Impacts-Responses), який використовується для дослідження взаємозв'язків між людською діяльністю, станом екосистем та їх наслідками [13].

Методи аналізу вразливості, кількісної оцінки, оцінки ймовірності ризику та сценарний аналіз дозволяють отримати детальну інформацію про ризики та їх значущість для морської екосистеми.

## 3. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ПОВ'ЯЗАНІ З СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ ЕКОСИСТЕМНИМИ РИЗИКАМИ МОРЯ

### 3.1 Основні терміни

**Здоров'я екосистеми** визначається її структурою, функціонуванням та біологічним складом морської екосистеми. Стабільність екосистеми виявляється у здатності екосистеми до підтримки своїх функцій та збереження рівноваги при зовнішніх та внутрішніх змінах [14]. Біорізноманіття моря визначається наявністю різноманітних видів та їх взаємодією, включаючи продукційні ланцюги та взаємодію між видами.

**Екологічний моніторинг** передбачає систематичний збір, аналіз та оцінку даних про стан морського середовища [15-17]. Оцінка екологічного стану морського середовища включає визначення гідрофізичних, гідрохімічних та біологічних показників стану довкілля, які дозволяють визначити комплексні індикатори якості води, включаючи рівень забруднення, біорізноманіття, засміченість та інші. Це допомагає виявляти зміни, встановлювати тенденції та оцінювати ефективність заходів управління ризиками.

**Оцінка морських екосистемних послуг** визначає економічну та соціальну цінність послуг, які надає екосистема [18-21]. Оцінка ґрунтується на аналізі функцій екосистеми та процесів в ній, а також на визначенні ступеня залежності суспільства від цих послуг.

**Фактори впливу** включають природні та антропогенні чинники, що впливають на стан екосистеми та ризики, пов'язані з нею [22]. Природні фактори охоплюють природні процеси,

такі як кліматичні зміни, екстремальні погодні умови та природні лиха. Антропогенні фактори включають вплив людської діяльності, такий як забруднення, перелов рибних ресурсів, привнесення інвазійних видів флори та фауни та інші антропогенні дії. Ці фактори можуть взаємодіяти між собою, підсилюючи або послаблюючи їхні наслідки для екосистеми та ризику, пов'язані з нею.

### 3.2 Принципи

Теорія управління екосистемними ризиками моря базується на стратегічному балансі принципів адаптивного управління, використання екосистемного підходу, а також використання сучасних технологій, таких як математичні моделі, геоінформаційні системи, системи управління базами даних, тощо.

Адаптивне управління передбачає гнучкий підхід до управління, який дозволяє вносити зміни на основі відгуків системи та нових даних [23, 24]. Цей підхід визнає нестійкість та невизначеність екосистеми, а також необхідність навчання на основі досвіду.

Екосистемний підхід зосереджується на взаємодії між різними компонентами екосистеми та на тому, як ці взаємодії формують загальну структуру та функції екосистеми [22]. Він допомагає враховувати взаємопов'язаність та мінімізувати небажані наслідки втручання в екосистему.

Сучасні технології, зокрема інформаційні технології та географічне планування, відіграють

важливу роль у ефективному управлінні екосистемними ризиками. Вони допомагають збирати, обробляти та аналізувати великі обсяги даних, що дозволяє краще розуміти стан екосистеми та ризику, а також розробляти та впроваджувати ефективні стратегії управління [25-70]. Нижче будуть обговорені існуючі моделі та комп'ютерні програми для моделювання морських екосистем та їх окремих компонент.

Запропонована теорія базується на принципах відповідальності, запобіжності та інтеграції особливостей екологічного менеджменту в систему управління ризиками. Основною метою є забезпечення сталого розвитку морських екосистем та міцності (резиліентності) перед емерджентними ризиками.

Міждисциплінарність, наукова обґрунтованість, міжнародна співпраця, превентивні дії, прозорість, об'єктивність, пропорційність та регулятивне управління - це ключові принципи, які допомагають реалізувати цю теорію в практиці.

Табл. 1 ілюструє взаємозв'язки принципів і структурних елементів системи управління екосистемними ризиками. Вона вказує, що принцип адаптивного управління потребує адаптації стратегій у відповідь на зміни в екосистемі, принцип біорізноманіття акцентується на важливості збереження біорізноманіття для резиліентності, а принцип використання відповідних показників вимагає адекватних метрик для оцінки ефективності управління ризиками.

**Таблиця 1** – Взаємозв'язок принципів із структурними елементами системи управління екосистемними ризиками  
**Table 1** - Relationship between the principles and structural components of the ecosystem risk management system

Принцип	Взаємозв'язок з структурними елементами системи управління екосистемними ризиками
Принцип адаптивного управління	Суб'єкт управління: адаптація стратегій управління залежно від змін стану морської екосистеми.
Принцип біорізноманіття	Морська екосистема: збереження та відновлення біорізноманіття як ключового ресурсу для резиліентності екосистем.
Принцип визначення і використання відповідних показників	Морський екологічний моніторинг: використання відповідних показників для виміру ефективності управління.
Принцип використання інформаційних технологій	Морський екологічний моніторинг: використання технологій для підтримки управління ризиками, включаючи моніторинг та передбачення.
Принцип відповідальності	Користувачі екосистемних послуг: визначення та прийняття відповідальності за вплив на морську екосистему.
Принцип географічного планування	Суб'єкт управління: використання просторового планування для координації управління ресурсами і ризиками.
Принцип екосистемного підходу	Суб'єкт управління: розгляд екосистеми як цілого при визначенні стратегії управління.
Принцип "Забруднювач платить"	Користувачі екосистемних послуг: встановлення прецедентів для зменшення забруднення або відновлення забруднених областей.
Принцип запобіжності	Суб'єкт управління: превентивні заходи для уникнення потенційних ризиків.

Таблиця 1 – Продовження  
Table 1 – Continued

Принцип	Взаємозв'язок з структурними елементами системи управління екосистемними ризиками
Принцип інтеграції особливостей екологічного менеджменту в систему управління ризиками	Суб'єкт управління: інтеграція екологічних пріоритетів в загальну стратегію управління ризиками.
Принцип інтегрованого управління	Суб'єкт управління: координація різних видів управління для досягнення цілісного підходу.
Принцип міждисциплінарності	Суб'єкт управління: використання широкого спектру наукових дисциплін для розуміння і управління екосистемами.
Принцип міжнародної співпраці	Суб'єкт управління: співпраця між різними країнами або регіонами для управління транскордонними ризиками.
Принцип міцності (резиліентності)	Морська екосистема: підтримка та зміцнення резиліентності екосистем для управління ризиками.
Принцип моніторингу та оцінки	Морський екологічний моніторинг: систематичний збір і аналіз даних для оцінки ефективності управління.
Принцип наукової обґрунтованості	Суб'єкт управління: використання наукових даних і досліджень для прийняття обґрунтованих рішень.
Принцип превентивної дії	Суб'єкт управління: превентивні дії для уникнення потенційних ризиків.
Принцип прозорості та об'єктивності	Суб'єкт управління: відкритість і об'єктивність в процесі прийняття рішень.
Принцип пропорційності	Суб'єкт управління: пропорційність дій до рівня ризику.
Принцип регулятивного управління	Суб'єкт управління: встановлення правил і норм для зменшення ризиків.
Принцип сталого розвитку	Всі елементи: використання ресурсів екосистеми таким чином, щоб вони задовольняли поточні потреби, не погрожуючи при цьому потребам майбутніх поколінь.

#### 4. КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ТЕОРІЇ УПРАВЛІННЯ ЕКОСИСТЕМНИМИ РИЗИКАМИ МОРЯ

Концептуальна модель управління екосистемними ризиками моря є важливим інструментом, що відображає ключові компоненти теорії та їх взаємозв'язки. Вона допомагає розуміти структуру та характеристики цієї теорії і сприяє її подальшому впровадженню на практиці. Ця модель враховує складність взаємодій між соціо-економічними системами та морськими екосистемами, а також ризики, що виникають внаслідок цих взаємодій.

Основні компоненти концептуальної моделі включають фактори впливу, такі як природні та антропогенні чинники, які впливають на стан морських екосистем та ризики, пов'язані з ними. Вона також враховує поняття здоров'я екосистеми, стабільності екосистеми та біорізноманіття як ключові компоненти, які визначають стан та функціонування морських екосистем.

Ця модель покликана забезпечити сталість соціо-економічних систем та морських екосистем, забезпечуючи ефективне управління ризиками. Вона надає базовий фреймворк для аналізу, розуміння та управління ризиками, пов'язаними зі змінами у морських екосистемах.

Подальше впровадження цієї моделі на практиці допоможе розробляти та впроваджувати стратегії та заходи, спрямовані на збереження та стале використання морських ресурсів для забезпечення нашого майбутнього благополуччя.

##### 4.1 Структурні та функціональні характеристики концептуальної моделі

Концептуальна модель управління екосистемними ризиками моря складається з наступних елементів, які взаємодіють між собою.

1. **Морська екосистема:** визначає базові компоненти системи управління ризиками. Морська екосистема має важливе значення для надання екосистемних послуг та забезпечення біологічної різноманітності. Розуміння її стану та вразливості є ключовим для формування стратегії управління ризиками.

2. **Екосистемні послуги:** охоплюють широкий спектр корисних ресурсів та функцій, які надає морська екосистема. Вони включають харчування, регулювання клімату, очищення води, рекреаційні можливості та багато іншого. Врахування структури та якості цих послуг допомагає визначити, які ризики можуть вплинути на екосистему та користувачів послуг.

3. **Суб'єкт управління екосистемними ризиками:** відповідає за реалізацію стратегії управління ризиками. Він забезпечує збір інформації про морську екосистему та екосистемні послуги, формування стратегії управління та прийняття відповідних рішень. Суб'єкт управління також залучає користувачів екосистемних послуг до процесу, враховуючи їхні потреби та цінності. Суб'єкт управління може функціонувати на місцевому, національному та міжнародному рівнях.

4. **Користувачі екосистемних послуг:** цей елемент включає тих, хто користується послугами, наданими морською екосистемою. Користувачі мають вплив на стан екосистеми через свою діяльність, таку як рибальство, туризм, промислова діяльність тощо. Управління ризиками повинно враховувати вплив користувачів та сприяти їх відповідальній поведінці.

5. **Морський екологічний моніторинг** є важливою складовою системи управління екосистемними ризиками. Це систематичний збір, аналіз та інтерпретація даних про стан морської екосистеми. Моніторинг допомагає виявляти зміни, оцінювати ефективність дій та прогнозувати майбутні ризики. Це надає необхідну інформацію для прийняття обґрунтованих рішень та розробки стратегій управління ризиками на основі наукових доказів.

Кожен з цих елементів взаємодіє один з одним, створюючи систему управління екосистемними ризиками. Розуміння стану морської екосистеми, врахування якості та структури екосистемних послуг, дії суб'єкта управління та взаємодія з користувачами покликані забезпечити баланс між використанням екосистемних послуг та збереженням здоров'я та стійкості морської екосистеми.

Крім того, фактори впливу, такі як природні та антропогенні чинники, впливають на всі аспекти системи управління ризиками. Вони можуть включати кліматичні зміни, забруднення, зміни використання землі та інші антропогенні дії. Ці фактори впливають на стан морської екосистеми та викликають потенційні ризики. Управління ризиками має враховувати ці фактори, оцінювати їх та розробляти стратегії для управління ними.

Концептуальна модель управління екосистемними ризиками моря передбачає використання системи наукових даних, що отримуються з моніторингу стану екосистеми та аналізу факторів впливу. Ці дані становлять

основу для розпізнавання ризиків та оцінки їх імовірності та потенційних наслідків.

На основі цієї інформації розробляються стратегії управління ризиками, спрямовані на попередження ризиків, мінімізацію шкоди в разі виникнення негативних подій та відновлення екосистеми до здорового стану. Ці стратегії включають конкретні дії та заходи, що враховують особливості морської екосистеми та впливу антропогенних чинників.

Реалізація стратегій управління ризиками вимагає активної участі суб'єкта управління, який виконує заплановані дії та впроваджує необхідні заходи. Важливою частиною процесу є постійний моніторинг та оцінка стану екосистеми, що дозволяє визначити ефективність застосованих стратегій та, у разі необхідності, внести корективи.

Оновлення та адаптація системи управління ризиками є необхідною умовою для забезпечення її ефективності в довгостроковій перспективі. Це означає збір нових наукових даних, оцінку ефективності стратегій та врахування змін в стані морської екосистеми та впливу факторів ризику.

Узагальнюючи, система управління екосистемними ризиками моря заснована на наукових даних та включає етапи розпізнавання ризиків, оцінки ризиків, розробки стратегій, реалізацію стратегій та постійне оновлення та адаптацію (див. рис. 1). Цей підхід дозволяє забезпечити ефективне управління ризиками та збереження стійкості морських екосистем для майбутніх поколінь.

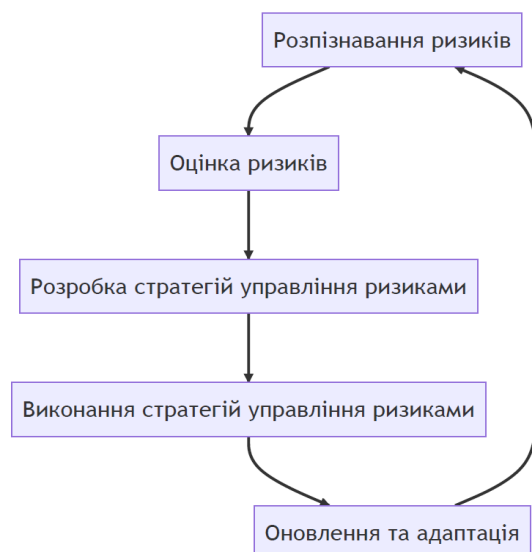


Рис. 1 - Загальна модель управління ризиками  
Fig. 1 - General risk management model

Функціональні характеристики концептуальної моделі управління екосистемними ризиками моря, вказані нижче, відображають ключові аспекти її функціонування.

**Цілі моделі.** Цільова спрямованість моделі полягає в прогнозуванні майбутніх екосистемних ризиків, визначенні ефективних стратегій управління ризиками та наданні підтримки прийняття рішень стосовно вибору оптимальних стратегій управління. Модель допомагає зрозуміти можливі наслідки дій та прийняти обґрунтовані рішення щодо мінімізації ризиків та забезпечення стійкого розвитку морських екосистем.

**Використання моделі.** Концептуальна модель використовується для аналізу екосистемних ризиків, оцінки ефективності стратегій управління ризиками, моделювання сценаріїв змін у ризиках та розробки нових стратегій управління. Це дозволяє систематично досліджувати взаємозв'язки та наслідки різних варіантів управління ризиками та сприяє розробці науково обґрунтованих рекомендацій та політик управління екосистемними ризиками моря.

**Поведінка моделі.** Функціональні характеристики моделі відображають певні аспекти її поведінки. Системність позначає те, що модель розглядає морську екосистему як цілісну структуру, урахуваючи взаємозв'язки між її компонентами. Динамічність означає здатність моделі відтворювати часову динаміку екосистемних ризиків з урахуванням змін в середовищі. Проактивність передбачає визначення стратегій для прогнозування та мінімізації потенційних ризиків. Адаптивність моделі проявляється у її здатності адаптуватися до змін умов та нових даних, що забезпечує актуальність та відповідність дійсності.

Ці функціональні характеристики є ключовими для розуміння та використання концептуальної моделі управління екосистемними ризиками моря. Вони сприяють здійсненню ефективного аналізу ризиків, розробці стратегій та прийняттю обґрунтованих рішень для забезпечення стійкого розвитку морських екосистем.

## 4.2 Класифікація та характеристика екосистемних ризиків моря

Екосистемні ризики моря можуть бути класифіковані за різними критеріями з відповідними характеристиками, а саме:

### 1. за джерелами загроз:

- антропогенні ризики, пов'язані з людською діяльністю;
- природні ризики, пов'язані з природними процесами та явищами;

### 2. за просторовим масштабом впливу:

- локальні ризики, що впливають на конкретну морську область або екосистему;
- регіональні та/або глобальні ризики, що впливають на моря або на океани;

### 3. за часовим масштабом впливу:

- короткострокові ризики, що виявляються швидко, але можуть мати обмежений вплив;
- довгострокові ризики, які можуть бути менш очевидними на початку, але мають значний та тривалий вплив;

### 4. за рівнем впливу на біорізноманіття:

- генетичний рівень, що включає зменшення генофонду та мутації;
- рівень живого організму, що включає зміни в фізіологічних процесах морських організмів;
- популяційний рівень, що включає зміни в популяції виду;
- видовий рівень, що включає загрозу вимирання виду;
- біоценозний рівень, що включає зміни в структурі та функціонуванні спільноти організмів;
- екосистемний рівень, що включає широкомасштабні зміни в морських екосистемах.

Ця класифікація дозволяє більш детально вивчати та розуміти різноманітність та характер ризиків, що впливають на морські екосистеми.

## 4.3 Стратегії управління екосистемними ризиками

Існує низка стратегій управління екосистемними ризиками моря, які враховують різноманітні аспекти і вимоги сталого використання морського довкілля.

1. *Морське просторове планування (Marine Spatial Planning, MSP).* Підхід передбачає розробку плану використання морського простору з урахуванням різних видів діяльності та інтересів стейкхолдерів. MSP дозволяє враховувати конфлікти між різними користувачами морського простору (наприклад, рибалки, туризму, виробництва енергії) та забезпечує збалансоване управління ресурсами та охорону екосистем [71].

2. *Створення захищених морських областей (Marine Protected Areas, MPA).* MPA - це особливі морські зони, де регулюється або

обмежується людська діяльність з метою збереження морського біорізноманіття та екосистемних процесів [72]. Встановлення МРА допомагає зберегти важливі морські середовища, сприяє відновленню вимерлих або зникаючих видів та підтримує стійке функціонування морських екосистем.

3. *Управління на основі екосистемного підходу (Ecosystem-Based Management, EBM)*. EBM є холістичним підходом до управління морськими екосистемами, де розглядається система в цілому, а не окремі складові частини [73]. Підхід враховує взаємозв'язки між різними видами, процесами та екологічними функціями, сприяє збереженню біорізноманіття, відновленню екосистем та забезпеченню стійкого використання природних ресурсів.

4. *Управління ресурсами*. Підхід включає регулювання використання окремих ресурсів, наприклад, при рибальстві та аквакультурі, контроль незаконного, недекларованого та нерегульованого рибальства, моніторинг стану рибних запасів та впровадження науково обґрунтованих квот та обмежень [74]. Додатково, враховується вплив інших діяльностей, які можуть негативно впливати на морські екосистеми, такі як нафтогазова промисловість та транспорт.

5. *Інтегроване управління прибережними зонами (Integrated Coastal Zone Management, ICZM)*. Цей підхід є холістичним, зосередженим на управлінні територією вздовж прибережних зон, включаючи морські та прибережні екосистеми. ICZM враховує екологічні, соціальні та економічні аспекти, сприяє сталому розвитку, збереженню біорізноманіття та екосистемної резиліентності [75].

6. *Директива ЄС з морської стратегії (Marine Strategy Framework Directive, MSFD)*. Директива є ключовим інструментом для забезпечення сталого розвитку морського середовища в Європейському Союзі [76]. MSFD вимагає від держав-членів розробки і впровадження координованих стратегій для досягнення та збереження доброго екологічного стану своїх морських вод. Цей підхід включає базову оцінку морського середовища, визначення "доброго екологічного стану" та розробку морських стратегій.

7. *"Блакитне зростання" (Blue Growth)*. Підхід, запроваджений Європейським Союзом, що поєднує стале використання морських ресурсів та розвиток морських секторів, таких як енергетика, рибальство, туризм та біотехнології [77]. Основна мета "блакитного зростання"

полягає в стимулюванні економічного розвитку, збереженні морського середовища та забезпеченні стійкості морських екосистем.

Ці стратегії забезпечують комплексний підхід до управління екосистемними ризиками моря, забезпечуючи збалансоване використання морського довкілля, збереження біорізноманіття та стійкий розвиток морських екосистем. Врахування цих підходів допомагає забезпечити належне функціонування морського середовища та збереження його ресурсів для майбутніх поколінь.

Ці стратегії взаємодіють з різними структурними елементами системи управління екосистемними ризиками, включаючи:

1. *ідентифікацію ризиків* - визначення потенційних загроз та визначення їх впливу на морські екосистеми;
2. *моніторинг ризиків* - систематичне спостереження за станом морських екосистем та ідентифікація змін, що можуть впливати на ризики;
3. *оцінку ризиків* - визначення ймовірності та потенційного впливу ризиків на морські екосистеми;
4. *реагування на ризики* - впровадження заходів для зменшення ризиків та мінімізації їх негативного впливу на морські екосистеми;
5. *стратегію відновлення екосистеми* - розробка та реалізація планів відновлення морських екосистем після виникнення ризикових подій;
6. *вплив на біорізноманіття* - збереження та забезпечення біологічного різноманіття в морських екосистемах;
7. *залучення сторін* - врахування думок, потреб та цінностей всіх зацікавлених сторін у процесі управління екосистемними ризиками.

Порівняльний аналіз методів, які використовуються у стратегіях управління екосистемними ризиками, наведено в табл. 2.

Стратегії управління ризиками можуть бути адаптовані до контексту управління екосистемними ризиками шляхом [78-80]:

1. *унікнення ризику* - відмова від діяльності, яка може пошкодити екосистему;
2. *прийняття ризику* - якщо потенційна вигода переважає потенційні екосистемні втрати;
3. *мінімізація ризику* - застосування практик, що зменшують негативний вплив на екосистему.
4. *передача ризику* - страхування або угоди



про поділ ризику з користувачами.

Кожну стратегію управління ризиками слід розглядати з огляду на унікальні обставини, контекст і цінності зацікавлених сторін.

Стратегії управління ризиками можуть бути реалізовані через різні інструменти: MSP, MPA, EBM, управління ресурсами, систему відповідно до вимог Директива ЄС з морської стратегії.

Ці стратегії інтегрують різні підходи до управління екосистемними ризиками, забезпечуючи збереження екосистем та сталість морського середовища.

На діаграмі, представленій на рис. 2, відображені зв'язки між різними підходами до

управління морським довкіллям та стратегіями управління ризиками, які вони використовують. Наприклад, стратегія морського просторового планування може включати ідентифікацію ризиків, моніторинг ризиків та реагування на ризики. Зауважимо, що деякі стратегії можуть використовувати кілька методів управління ризиками одночасно, підкреслюючи комплексний підхід до управління екосистемними ризиками.

Цей комплексний підхід сприяє досягненню сталого управління екосистемними ризиками та збереженню морських екосистем для майбутніх поколінь.

**Таблиця 2** – Порівняльний аналіз методів, що використовуються кожним підходом для окремих етапів управління екосистемними ризиками

**Table 2** – Comparative analysis of methods used by each approach for individual stages of ecosystem risk management

Підхід	Ідентифікація ризиків	Моніторинг ризиків	Оцінка ризиків	Реагування на ризики	Відновлення екосистеми	Вплив на біорізноманіття	Залучення сторін
Морське просторове планування	SWOT-аналіз, експертні оцінки	Моніторинг стану морського середовища, збір та аналіз даних	Оцінка впливу різних видів діяльності на екосистему	Розробка протоколів та процедур для попередження ризиків	Відновлення природних ресурсів, відновлення біорізноманіття	Збереження біорізноманіття, запобігання втраті видів	Залучення зацікавлених сторін до процесу планування
Створення захищених морських областей	Аналіз біорізноманіття, ідентифікація загроз	Моніторинг стану захищених областей, оцінка ефективності заходів	Оцінка впливу людської діяльності на захищену зону	Розробка та впровадження стратегій збереження та відновлення	Відновлення біорізноманіття, реставрація пошкоджених екосистем	Захист різноманітних видів, збереження природних процесів	Залучення громадськості та зацікавлених організацій до планування
Управління на основі екосистемного підходу	Аналіз екосистемних зв'язків та взаємодій	Моніторинг екосистемних процесів та показників	Оцінка стану екосистеми та визначення ризиків	Розробка та впровадження заходів для збереження та відновлення екосистеми	Відновлення рівноваги та стабільності екосистеми	Збереження біорізноманіття, забезпечення сталого розвитку	Залучення всіх зацікавлених сторін до процесу управління
Управління ресурсами	Моніторинг стану ресурсів, аналіз даних	Моніторинг використання ресурсів, контроль вилову риби	Оцінка стану ресурсів та їх природної продуктивності	Регулювання добового вилову, обмеження діяльності, яка негативно впливає на ресурси	Відновлення природної продуктивності, відновлення рівноваги в рибальських ресурсах	Збереження біорізноманіття, стале використання ресурсів	Залучення стейкхолдерів до процесу управління ресурсами

Таблиця 2 – Продовження

Table 2 – Continued

Підхід	Ідентифікація ризиків	Моніторинг ризиків	Оцінка ризиків	Реагування на ризики	Відновлення екосистеми	Вплив на біорізноманіття	Залучення сторін
Директива ЄС з морської стратегії	Аналіз стану морських вод, ідентифікація проблем	Моніторинг екологічного стану, збір та аналіз даних	Оцінка стану морського середовища, впливу діяльності на екосистему	Розробка та впровадження стратегій збереження та покращення стану морського середовища	Відновлення морського середовища, відновлення біорізноманіття	Збереження різноманітних морських видів, залучення громадськості	Залучення зацікавлених сторін до процесу впровадження директиви
Стратегія "Блакитного зростання"	Аналіз потенціалу морського сектора, ідентифікація можливостей	Моніторинг розвитку морського сектора, аналіз показників	Оцінка економічного впливу морського сектора, стійкості розвитку	Підтримка та стимулювання сталого розвитку морського сектора	Відновлення економічної стійкості та зростання, створення робочих місць	Вплив на зайнятість та економічний розвиток, залучення бізнесу та інновацій	Залучення бізнесу та громадськості до розвитку морського сектора

## 5. МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ ЕКОСИСТЕМНИМИ РИЗИКАМИ

Загальна модель управління ризиками в морських екосистемах, що наведена вище, надає систематичний та цілеспрямований підхід до забезпечення сталого розвитку та мінімізації впливу природних та антропогенних факторів на ці екосистеми.

Етапи розробки методології управління екосистемними ризиками наведені на рис.3.

Методика управління екосистемними ризиками передбачає:

1. *встановлення цілей*: використовуючи вимоги зацікавлених сторін та наукові індикатори, формулюємо цілі SMART, які охоплюють екосистемні ризики;
2. *ідентифікацію ризиків*: використовуємо наявні дані для виявлення потенційних ризиків;
3. *оцінку ризиків*: застосовуємо математичне моделювання для визначення імовірності та потенційного впливу ризиків;
4. *створення стратегій управління ризиками*: після оцінки ризиків розробляємо стратегії управління, що враховують кожен ризик і можуть включати складові: зниження, передачу, уникнення або прийняття ризику, враховуючи їх вартість, вплив та ефективність;

5. *визначення оптимальної стратегії управління*: застосовуємо оптимізаційні техніки для вибору найкращої стратегії управління кожним ризиком, що може включати аналіз чутливості, моделювання сценаріїв та стохастичне оптимізаційне моделювання.

Ці кроки слугують основою використання концептуальної моделі управління морськими екосистемними ризиками.

Центральна мета управління екосистемними ризиками - забезпечення стійкості морської екосистеми і її відновлення при пошкодженні. Стійкість включає підтримання екосистемних функцій, біологічного різноманіття, послуг екосистеми та стабільності у змінних умовах.

Така стійкість має три аспекти.

1. *Стабільність регіону*. Географічний регіон повинен залишатися стабільним незважаючи на вплив глобальних біогеохімічних циклів.

2. *Збереження біологічного угруповання*. Угруповання, що складається з різних популяцій, повинно зберігати свою чисельність видів.

3. *Стабільність популяцій*. Популяції в угрупованні мають бути стабільними без різких коливань.

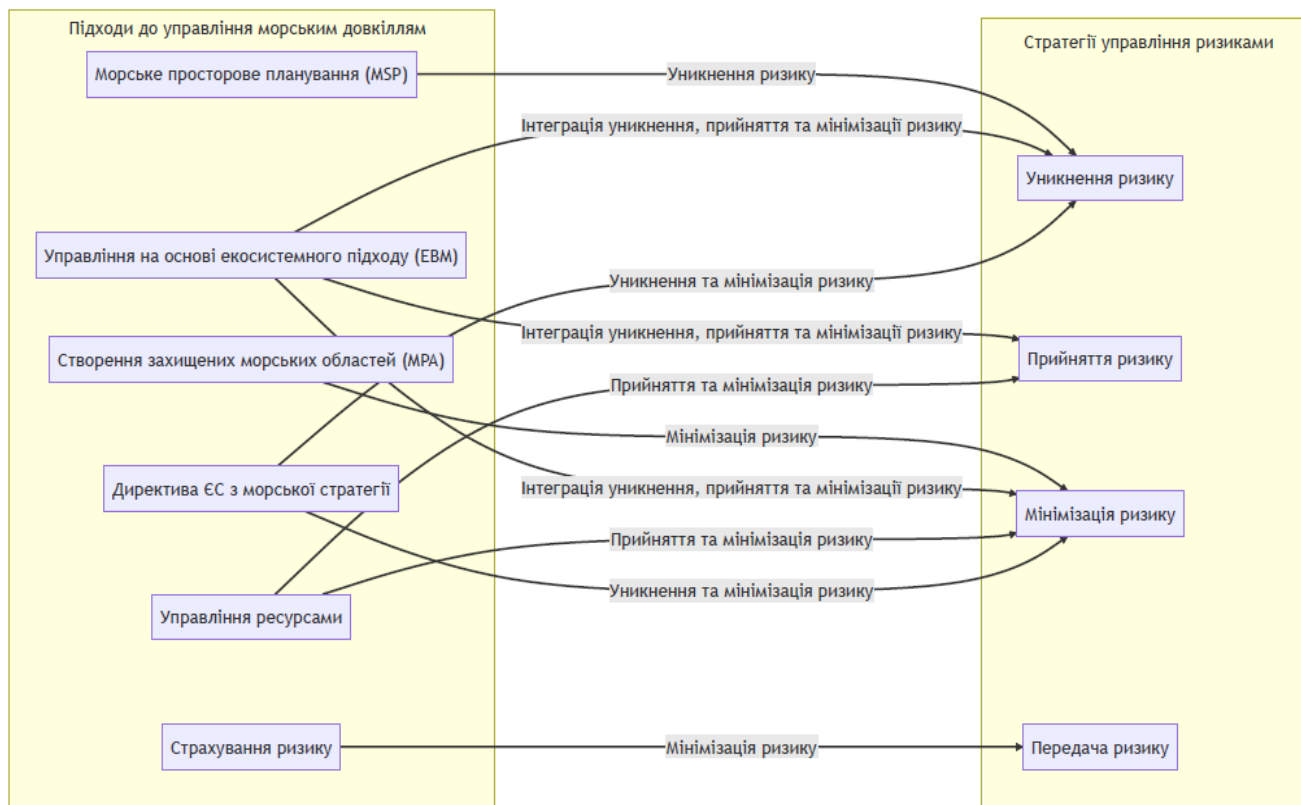


Рис. 2 – Зв'язки між підходами до управління морським довкіллям та стратегіями управління ризиками  
 Fig. 2 - Relationships between marine management practices and risk management strategies

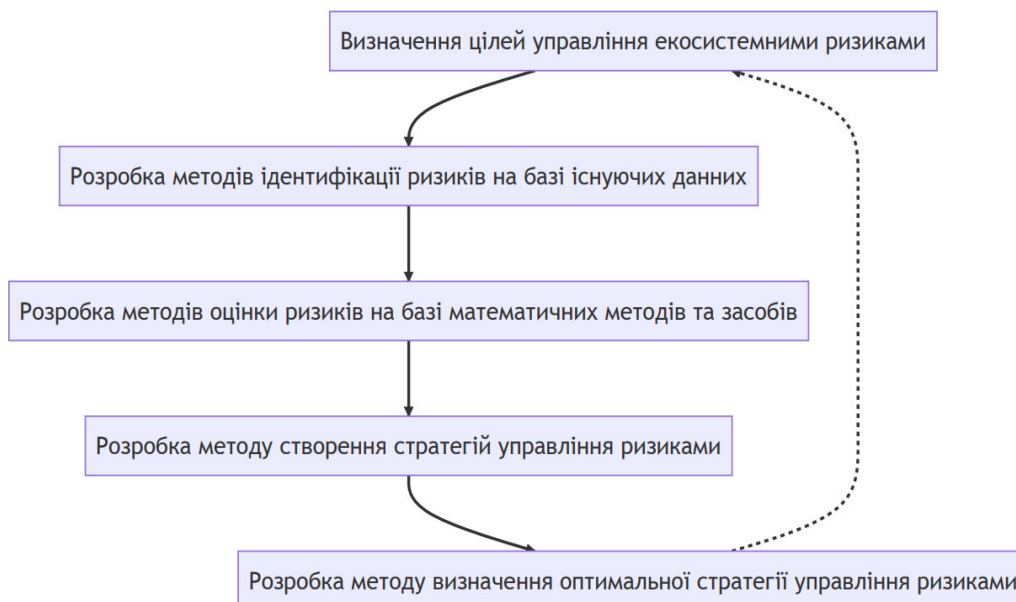


Рис. 3 – Основні етапи розробки методології управління екосистемними ризиками  
 Fig. 3 - Key steps in building the ecosystem risk management methodology

При визначенні цілей управління ризиками потрібно враховувати потреби різних суб'єктів, щоб забезпечити баланс між захистом екосистеми та задоволенням потреб суспільства.

Управління екосистемними ризиками має такі цілі.

1. *Збереження біорізноманіття.* Стосується видового складу, генетичної різноманітності та екосистемної структури.

2. *Мінімізація негативного впливу.* Охоплює обмеження забруднення, раціональне використання ресурсів і контроль за хімічними речовинами.

3. *Збереження екосистемних послуг* - підтримка послуг, наданих морськими екосистемами, таких як очищення води, регуляція клімату і рекреаційні послуги.

4. *Стале використання ресурсів* - ресурси екосистеми використовуються в межах, які зберігають їх для майбутніх поколінь.

5. *Захист здоров'я і благополуччя* - зменшення ризиків, пов'язаних з морськими екосистемами, що впливають на людей, включаючи контроль якості води і управління ризиками здоров'я морських організмів.

На етапі ідентифікації ризиків, різні підходи та методи можуть бути використані для виявлення ризику. Ці програми, хоча і мають обмеження, є потужними інструментами для управління екосистемними ризиками. Їх точність та ефективність залежать від якості даних та припущень, які використовуються при моделюванні. Результати повинні бути інтерпретовані обережно і підтверджуватися реальними даними.

Оцінка екосистемних ризиків передбачає створення відповідної математичної моделі, яка враховує цілі оцінки, вразливість екосистеми, фактори впливу, користувачів послуг та інші елементи. Модель включає фізичні, біологічні, хімічні та соціо-економічні процеси екосистеми, параметри вразливості до загроз, а також потреби і можливості управління. Результатом є прогнозування ризиків, оцінка впливу факторів та управління, обґрунтоване прийняття рішень та підтримка стану екосистеми.

Математичне моделювання в екології, починаючи з роботи Р. Мея, використовувало прості інструменти, але з розвитком науки та технологій, стало більш деталізованим [11]. Для

аналізу морських екосистем застосовуються такі математичні та інформаційні методи:

- статистичний аналіз для виявлення тенденцій в характеристиках екосистеми;
- імітаційні моделі для прогнозування реакцій на зміни;
- мережевий аналіз для вивчення екологічних мереж;
- дистанційне зондування для збору даних про екосистеми;
- ГІС для просторового аналізу даних;
- динамічні системи для аналізу складних, змінних систем;
- штучний інтелект та машинне навчання для аналізу великих наборів даних і прогнозування змін;
- бази даних для управління даними про екосистеми.

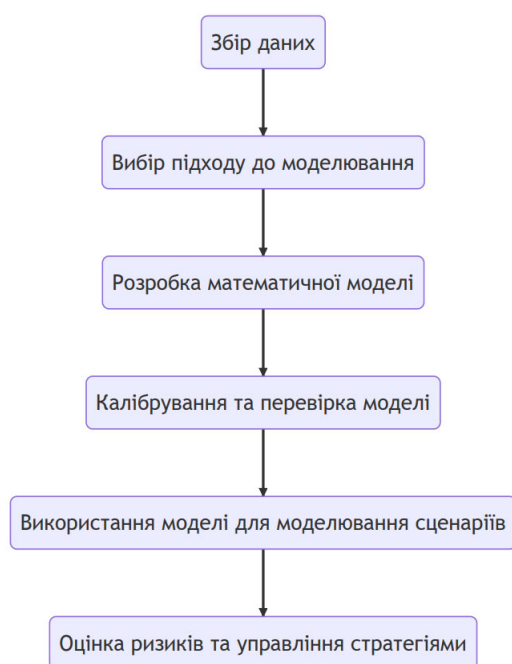
Процес математичного моделювання, який наведений на рис. 4, дозволяє аналізувати складні взаємодії в морських екосистемах та прогнозувати їхню поведінку в різних умовах. Використання математичних моделей дозволяє покращити розуміння ризиків та екологічних процесів у морських екосистемах і сприяє розробці ефективних стратегій управління для збереження та сталого використання морських ресурсів.

Доступні існуючі програми для використання математичного моделювання при виконанні завдань управління екосистемними ризиками в морі наведені в табл. 3. Ці програми використовують різні підходи та моделі для моделювання динаміки морських екосистем та оцінки впливу людської діяльності та зміни навколишнього середовища [25-70].

Ефективне управління екосистемами, зокрема морськими, потребує впровадження збалансованого підходу, який об'єднує різноманітні методи: від математичного моделювання до збору польових даних і включення відгуків від зацікавлених сторін. У цьому контексті модель AQUATOX є одним з успішних інструментів для аналізу впливу людської діяльності на водні екосистеми, такі як Чорне море [11].

Щодо вивчення стійкості таких екосистем, розгляд стійкості за показниками Ляпунова є найбільш привабливим підходом. Вона базується на математичних моделях екосистем і дозволяє оцінювати, наскільки "хорошою" є модель

біологічного угруповання або екосистеми, і наскільки вона здатна відповідати на питання про стійкість реального угруповання.



**Рис. 4** – Процедура використання математичного моделювання в методології управління екосистемними ризиками моря.

**Fig. 4** - Procedure to use mathematical modelling in marine ecosystem risk management methodology

Поняття стійкості за Ляпуновим передбачає, що невелике початкове відхилення в системі з часом не збільшується, а навіть може зменшуватися, що свідчить про асимптотичну стійкість системи. Завдяки аналізу показників Ляпунова, можна отримати важливу інформацію про динаміку системи, включаючи режими, розмірності атратора, і ентропію системи.

Інші форми стійкості, такі як орбітальна стійкість, стійкість по Пуассону, та стійкість по Лагранжу, також важливі, але стійкість за показниками Ляпунова надає найбільш всебічний і точний аналіз для оцінки стійкості морських екосистем.

На рис. 5 представлена блок-схема методу створення стратегій управління ризиками, який містить наступні етапи:

1. Аналіз вразливості: оцінює чутливість морської екосистеми до ризиків, вивчаючи її екологічні процеси та біорізноманіття.

2. Визначення ймовірності ризику: оцінює ймовірність і потенційний вплив ризикових

подій на екосистему за допомогою аналізу даних.

3. Кількісна оцінка: проводить кількісну оцінку ризиків за допомогою статистичних аналізів та математичного моделювання.

4. Мультикритеріальний аналіз: використовує методи прийняття рішень для врахування різних критеріїв ризику.

5. Ймовірно-статистичний аналіз: застосовує статистичні методи і ймовірнісні розрахунки для оцінки ризиків.

6. Моделювання та симуляція: використовує математичні моделі для аналізу ризиків та прогнозування ризикових сценаріїв.

7. Аналіз сценаріїв: розробляє сценарії ризикових подій і їх впливу на екосистему для розробки стратегій реагування.

8. Реагування на ризики: розробка та впровадження стратегій і заходів для мінімізації ризиків.

**Таблиця 3** – Існуючі моделі та комп'ютерні програми для моделювання морських екосистем та їх окремих компонент. Моделі та їх опис можливо знайти за наступними посиланнями: [25-70]

**Table 3** - Existing models and computer programs for modeling marine ecosystems and their individual components. The models and their descriptions are available from the following references: [25-70]

Основний об'єкт моделювання	Назва моделі/комп'ютерної програми
Гідрофізичні процеси	ADCIRC, CMSWave, Delft3D, EFDC, ELCIRC, FVCOM, MIKE21, MIKE21/3, POM, SELFE, SWAN, TELEMAC, WAM, WAVEWATCH III
Біохімічні процеси	COMF, ERSEM, M3, MSVPA, ROMS
Гідрометеорологічні процеси	Copernicus Marine Service, ECOMSED, GOTM, GROMS, HEM-GOM, ODV
Екосистемні процеси	AQUATOX, APECOSM, Atlantis, Bio-ORACLE, COPEPOD, DEB-IBM, DEB, ECOSMO, Ecopath with Ecosim (EwE) модель, GEMSS, MARES, MAREMIP, MIKE ECO Lab, MIMES, OSMOSE, SEA, SEAMAP, SEAPODYM, SeaBASS, STELLA, MICE

Розглянуті етапи управління ризиками створюють комплексний метод для ідентифікації, оцінки та управління ризиками морських екосистем, мета якого - забезпечити їх стійкість.

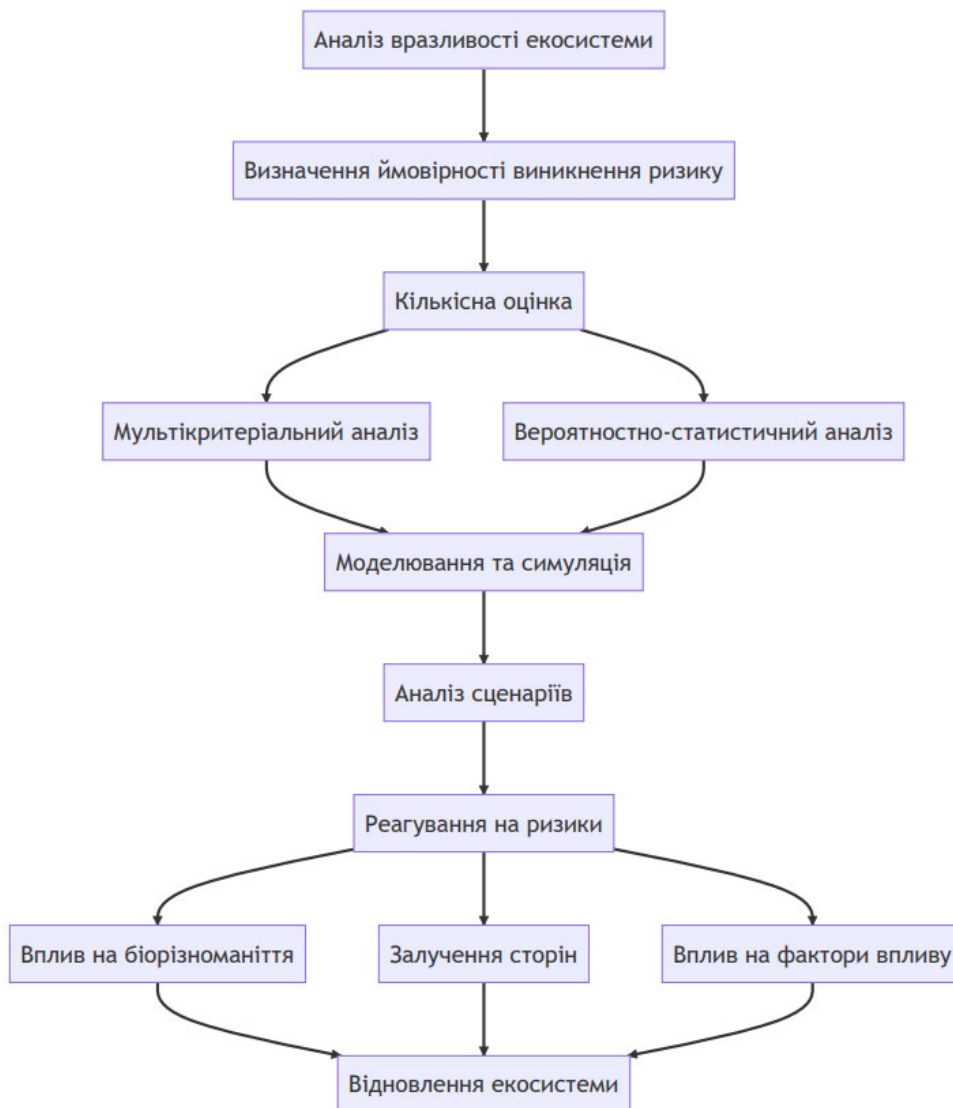


Рис. 5 – Блок-схема поетапного методу створення стратегій управління ризиками  
 Fig. 5 - Flow chart of a step-by-step approach to the creation of risk management strategies

## 6. ГІПОТЕЗИ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТЕОРІЇ

Екосистема є складною системою, що включає в себе живі організми та їхню взаємодію з неживою природою. Ця взаємодія формує енергетичні потоки, трофічну структуру та кругообіг речовин у системі. Однак, дослідження екосистем стикається зі складнощами через їхню ієрархічність, багатоманітність елементів та складну взаємодію між різними організмами.

Водні екосистеми, зокрема, мають особливості, які ускладнюють системний аналіз.

Вони характеризуються хаотичною динамікою та непередбачуваністю стану. Це означає, що точний стан водних екосистем важко передбачити, особливо з урахуванням слабкої детермінованості та постійної еволюції. Класичні імовірнісні підходи до моделювання не завжди ефективні у водних середовищах, оскільки навіть незначні зміни можуть мати значний вплив на систему.

Для дослідження водних екосистем використовують гіпотезу про взаємодію двох форм просторово-часової організації біоти. Перша форма - це нерівноважний потік, який прагне до рівноваги, а друга форма - це стан

нестійкої рівноваги окремих елементів потоку. Екосистеми можуть еволюціонувати через накопичення нових властивостей біоспільноти, які можна описати диференціальними рівняннями.

Важливим аспектом вивчення екосистем є розуміння впливу антропогенних факторів на систему. Навіть невеликі зовнішні впливи можуть спричинити радикальні зміни в екосистемі. Це може відбуватися через активацію клітинних або генно-молекулярних механізмів, які призводять до змін у структурі та функціонуванні системи. Навіть слабкі зовнішні впливи можуть спричинити біфуркацію - якісну зміну структури системи та вибір нових шляхів розвитку через флуктуації та випадкові обставини.

Для ефективного управління екосистемними ризиками моря пропонується використовувати екосистемний підхід (ЕП). ЕП враховує комплексність екосистем та їхню взаємодію з людьми. Цей підхід спрямований на збереження та стале використання земельних, водних та живих ресурсів у справедливий спосіб. Він визнає, що благополуччя людей залежить від здоров'я і стійкості екосистем.

ЕП також враховує, що екосистеми є динамічними і реагують на різні драйвери та тиск у різних масштабах. Він намагається підтримувати або відновлювати структуру та функції екосистем, враховуючи потреби та цінності всіх зацікавлених сторін. ЕП сприяє міжсекторальній координації та співпраці, а також навчанню та інноваціям. Він підтримує адаптивне управління, участь зацікавлених сторін та отримання знань.

Проте, впровадження ЕП також залежить від доступності та якості даних, розробки адекватних методів оцінки, розробки ефективних механізмів координації та управління, а також вирішення конфліктів та компромісів. Дослідження у цьому напрямку допоможуть розуміти, як ЕП може бути ефективно застосовано в різних контекстах та масштабах, і як воно може сприяти досягненню цілей сталого розвитку.

Теорія управління екосистемними ризиками моря може бути використана для перевірки різних гіпотез шляхом проведення експериментів та досліджень. Ці дослідження включають збір даних, створення моделей,

спостереження за змінами в екосистемах та аналіз впливу різних факторів. Перелічені нижче гіпотези можуть бути перевірені за допомогою таких методів.

1. *Гіпотеза робастності* стверджує, що екосистеми з вищою біологічною різноманітністю мають більшу стійкість до екологічних змін та стресів. Для перевірки цієї гіпотези можна проводити експерименти, досліджувати зміни в екосистемах з різною різноманітністю та аналізувати їх реакцію на зовнішні впливи.

2. *Гіпотеза про забруднення* стверджує, що зменшення рівня забруднення в морях призводить до поліпшення стану морської біоти та зменшення ризику для екосистеми. Щоб перевірити цю гіпотезу, можна здійснювати моніторинг забруднення в морських водах, проводити дослідження залежності між рівнем забруднення та станом екосистеми.

3. *Гіпотеза про вплив кліматичних змін* стверджує, що існує зв'язок між кліматичними змінами, такими як глобальне потепління та підняття рівня моря, та збільшенням екосистемних ризиків в морях. Для перевірки цієї гіпотези можна аналізувати довготривалі зміни в екосистемах та спостерігати їх реакцію на кліматичні фактори.

4. *Гіпотеза про захищені морські зони (ЗМЗ)* стверджує, що збільшення кількості та ефективності ЗМЗ призводить до зменшення екосистемних ризиків моря. Для перевірки цієї гіпотези можна проводити дослідження в захищених морських зонах та порівнювати їх стан з незахищеними ділянками.

5. *Гіпотеза про надмірне риболовство* стверджує, що існує зв'язок між надмірним риболовством та збільшенням екосистемних ризиків моря. Для перевірки цієї гіпотези необхідно досліджувати стан рибних запасів, вивчати зміни в екосистемах після зменшення риболовного тиску та аналізувати взаємозв'язок між риболовством та станом екосистеми.

Перевірка цих гіпотез допоможе встановити наукові основи для управління екосистемними ризиками моря та розробити ефективні стратегії збереження та сталого використання морських ресурсів.

## 7. ВИСНОВКИ

В роботі сформульовані сучасні теоретично-методологічні основи такого науково-практичного напрямку як створення та функціонування системи управління екосистемними ризиками моря. Для цього було проведено аналіз та оцінка актуальних концепцій та стратегій управління якістю морського середовища.

Після критичного аналізу наукової літератури стало очевидним, що поняття "екосистемний ризик" еволюціонувало від уявлення про екологічні ризики для окремих природних ресурсів та об'єктів до більш широкого розуміння його впливу на загальну структуру та функціонування екосистем. Сучасне визначення "екосистемного ризику" зосереджується на ймовірності та обсязі шкідливого впливу на цілісність та стабільність екосистем, відрізняючись від "екологічного ризику", що акцентується на впливах на окремі елементи екосистем.

Управління екосистемними ризиками моря вимагає комплексного підходу, спрямованого на збереження і стійкість екосистем та забезпечення відповідних екосистемних послуг. З цією метою була розроблена концептуальна модель, яка включає ідентифікацію, оцінку та стратегії управління ризиками, які можуть бути впроваджені на практичному рівні при вирішенні прикладних задач.

Виявлено різні типи екосистемних ризиків, які мають відмінні характеристики за джерелами загроз, масштабами впливу, часовими рамками та рівнями впливу на біорізноманіття. Ці характеристики можуть бути використані для класифікації ризиків та створення бази для їх аналізу та управління в морських екосистемах.

Стратегії управління екосистемними ризиками включають різні підходи до управління морським довкіллям, такі як морське просторове планування, створення захищених морських областей, управління на основі екосистемного підходу, управління ресурсами, Директива ЄС з морської стратегії та "Блакитне зростання". Ці стратегії спрямовані на забезпечення балансу між екологічними викликами та економічними потребами.

Теорія управління екосистемами моря містить різні гіпотези та напрямки розвитку, спрямовані

на врахування хаотичної динаміки та непередбачуваності стану екосистем. Ці гіпотези становлять основу для подальшого дослідження та розвитку теорії управління екосистемними ризиками моря. Вони потребують проведення експериментів, досліджень, моделювання та аналізу даних для перевірки їх обґрунтованості та відповідності реальним умовам.

Виокремлюються декілька ключових перспективних подальших завдань по даному напрямку досліджень:

- розробка і удосконалення інструментарію для ідентифікації та оцінки екосистемних ризиків;
- дослідження складних взаємозв'язків і взаємодій між різними екосистемними ризиками, що може допомогти розробити більш комплексні стратегії управління;
- створення ефективних стратегій управління екосистемними ризиками;
- розробка рекомендацій для удосконалення держаної системи управління якістю морського довкілля;
- підвищення обізнаності та підготовки фахівців, що працюють в природоохоронній галузі;
- інтеграція різних галузей знань, таких як екологія, економіка, соціологія та інші, для більш глибокого розуміння та ефективного управління екосистемними ризиками.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World's Population Increasingly Urban with More Than Half Living in Urban Areas. 2014. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-urbanization-prospects.html> (дата звернення: 15.06.2023)
2. Aven T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*. 2016. 253(1). Pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>
3. Developing a standardized definition of ecosystem collapse for risk assessment / Bland L. M. et al. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2018. 16(1). Pp. 29-36. <https://doi.org/10.1002/fee.1747>
4. Acceptable Risk / Fischhoff B. et al. Cambridge University Press. 1981. 185 p.
5. Renn O. Risk Governance: Coping with Uncertainty in a Complex World. *Earthscan*. 2008. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6799-0>
6. The Precautionary Principle in the 20th Century: Late



- Lessons from Early Warnings / Harremoës P. et al. *Earthscan*. 288 p.
7. Using ecosystem risk assessment science in ecosystem restoration: a guide to applying the Red List of Ecosystems to ecosystem restoration / Valderrábano M. et al. IUCN Global Ecosystem Management Programme. 2021. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.19.en>
  8. Assessing and managing multiple risks in a changing world — The Roskilde recommendations / Suter II G. W. et al. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2018. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20820.19842>
  9. Changes in the global value of ecosystem services / Costanza R. et al. *Global Environmental Change*. 2014. 26. Pp. 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
  10. Elliott M., Borja Á., & Cormier R. Managing marine resources sustainably: A proposed integrated systems analysis approach. *Ocean & Coastal Management*. 2020. 197. 105315. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105315>
  11. Komorin V. Assessment of the Black sea shelf ecosystem sustainability with mathematical simulation method. *Geographia Technica*. 2021. Vol. 16(2). Pp. 19–28. [https://doi.org/10.21163/GT\\_2021.162.02](https://doi.org/10.21163/GT_2021.162.02)
  12. Justus J. Ecological and Lyapunov Stability. *Philosophy of Science*. 2008. 75(4). Pp. 421-436. <https://doi.org/10.1086/595836>
  13. Maxim L., Spangenberg J. H. & O'Connor M. An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics*. 2009. 69(1). Pp. 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.03.017>
  14. Rapport D. J., Costanza R. & McMichael A. J. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology & Evolution*. 1998. 13(10). Pp. 397-402. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01449-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01449-9)
  15. National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016: Final Scientific Report / J. Slobodnik, B. Alexandrov, V. Komorin et al. Dnipro: Seredniak T.K., 2020. URL: [https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II\\_NPMS\\_JOSS\\_2016\\_ScReport\\_ISBN-978-617-7953-60-8-2.pdf](https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II_NPMS_JOSS_2016_ScReport_ISBN-978-617-7953-60-8-2.pdf)
  16. 12-Months National Pilot Monitoring Studies in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016-2017: Final Scientific Report / J. Slobodnik, V. Medinets, B. Alexandrov, V. Komorin, et al. Dnipro: Seredniak T.K., 2020. URL: [https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II\\_NPMS\\_12\\_months-2016\\_2017\\_ISBN-978-617-7953-58-5.pdf](https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II_NPMS_12_months-2016_2017_ISBN-978-617-7953-58-5.pdf)
  17. National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2017: Final Scientific Report / J. Slobodnik, B. Alexandrov, V. Komorin, A. Mikaelyan, et al. Dnipro: Seredniak T.K., 2020. URL: [https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II\\_NPMS\\_JOSS\\_2017\\_ScReport\\_ISBN-978-617-7953-62-2.pdf](https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II_NPMS_JOSS_2017_ScReport_ISBN-978-617-7953-62-2.pdf)
  18. De Groot R.S. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*. 2010. Vol. 7. Pp. 260-272
  19. Edward B. Barbier. Marine ecosystem services. *Current Biology*. 2017. Vol. 27, issue 11, 5 June 2017. Pp. R507-R510
  20. Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine and Coastal Ecosystem Services: A Systematic Review / Liqueste C. et al. *Review of Marine and Coastal Ecosystem Services*. 2013. Vol. 8, is. 7. P. 15.
  21. An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020 / Maes J. et al. *Ecosystem Services*. 2016. 17. Pp. 14-23. URL: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0. – 10.09.2018>
  22. Odum Eugene P. Fundamentals of ecology. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1953. 383 p.
  23. Marine environmental vulnerability and cumulative risk profiles to support ecosystem-based adaptive maritime spatial planning / Aps R. et al. *ICES Journal of Marine Science*. 2018. 75(7). Pp. 2488-2500. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy101>
  24. Adaptive marine conservation planning in the face of climate change: What can we learn from physiological, ecological and genetic studies? / *Global Ecology and Conservation*. 2019. 17. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00566>
  25. ADCIRC. URL: <https://adcirc.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
  26. APECOSM. URL: <https://apecosm.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
  27. AQUATOX. United States Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/ceam/aquatox> (дата звернення: 15.06.2023)
  28. Atlantis. CSIRO. URL: <https://research.csiro.au/atlantis/> (дата звернення: 15.06.2023)
  29. Bio-ORACLE. URL: <https://bio-oracle.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
  30. CMS-Wave. Aquaveo. URL: <https://www.aquaveo.com/software/sms-cms-wave> (дата звернення: 15.06.2023)
  31. COPEPOD. NOAA Fisheries. URL: <https://www.st.nmfs.noaa.gov/copepod/> (дата звернення: 15.06.2023)
  32. Copernicus Marine Environment Monitoring Service. URL: <https://marine.copernicus.eu> (дата звернення: 15.06.2023)
  33. COMF. British Oceanographic Data Centre. URL: [https://www.bodc.ac.uk/projects/data\\_management/comf/](https://www.bodc.ac.uk/projects/data_management/comf/) (дата звернення: 15.06.2023)
  34. COMSOL Multiphysics® Software. COMSOL Inc... URL: <https://www.comsol.com/> (дата звернення: 15.06.2023)
  35. DEB-IBM. DEB Theory Wiki. URL: <http://www.debtheory.org/wiki/index.php?title=DEB-IBM> (дата звернення: 15.06.2023)
  36. Delft3D Flexible Mesh Suite (Delft3D FM). Deltares. URL: <https://www.deltares.nl/en/software/delft3d-flexible-mesh-suite/> (дата звернення: 15.06.2023)
  37. DEB Theory Wiki Main Page. DEB Theory Wiki. URL: [http://www.debtheory.org/wiki/index.php?title=Main\\_Page](http://www.debtheory.org/wiki/index.php?title=Main_Page) (дата звернення: 15.06.2023)
  38. ECOMSED Model System for Estuaries and Coastal Watersheds. URL: <http://ecomsed.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
  39. Ecorpath with Ecosim - EwE. URL: <http://ecopath.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
  40. ECOSMO Model System for Estuaries and Coastal Watersheds. Southern California Coastal Water Research

- Project Authority. URL: <http://www.sccwrp.org/ecosmo-model/> (дата звернення: 15.06.2023)
41. Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC). United States Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/exposure-assessment-models/environmental-fluid-dynamics-code-efdc> (дата звернення: 15.06.2023)
  42. Using 2D Models for Tidal Current Forecasting . Hydro International. URL: <https://hydro-international.com/content/article/using-2d-models-for-tidal-current-forecasting> (дата звернення: 15.06.2023)
  43. ERSEM: European Regional Seas Ecosystem Model. URL: <http://ecomarres.com/downloads/ERSEM.pdf> (дата звернення: 15.06.2023)
  44. FVCOM: Finite Volume Community Ocean Model. URL: <http://fvcom.smast.umassd.edu/> (дата звернення: 15.06.2023)
  45. GEMSS: Global Earth-system Management and Sustainability System. URL: <http://earthsystemgovernance.org/gemss/> (дата звернення: 15.06.2023)
  46. GOTM: General Ocean Turbulence Model. URL: <http://gotm.net/> (дата звернення: 15.06.2023)
  47. GROMS: Global Register of Migratory Species. URL: <http://groms.eu/> (дата звернення: 15.06.2023)
  48. M3: Modular Ocean Model 3. URL: <http://m3.soest.hawaii.edu/> (дата звернення: 15.06.2023)
  49. MARES: Marine Ecosystem Health and Conservation. URL: <http://mares-eu.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
  50. MareMIP: Marine Ecosystem Model Intercomparison Project. URL: <http://www.maremip.eu/> (дата звернення: 15.06.2023)
  51. MATLAB® Software . MathWorks® Software . URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (дата звернення: 15.06.2023)
  52. MICE: Models of Intermediate Complexity for Ecosystem assessments. Available at: <https://research.csiro.au/mice/> (Accessed 15.06.2023)
  53. MIKE 21. DHI. URL: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-21> (дата звернення: 15.06.2023)
  54. MIKE 3. DHI. URL: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-21-3> (дата звернення: 15.06.2023)
  55. MIKE ECO Lab. DHI. URL: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-eco-lab> (дата звернення: 15.06.2023)
  56. MIMES: Multiscale Integrated Models of Ecosystem Services. URL: <http://mimesproject.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
  57. MIKE ECO. URL: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-eco-lab> (дата звернення: 15.06.2023)
  58. Ocean Data View (ODV). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research. URL: <https://odv.awi.de/> (дата звернення: 15.06.2023)
  59. OSMOSE: Object-oriented Simulator of Marine ecosystems Exploitation . European Commission Joint Research Centre. URL: <https://ec.europa.eu/jrc/en/osmose> (дата звернення: 15.06.2023)
  60. ROMS: Regional Ocean Modeling System. URL: <https://www.myroms.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
  61. SBEACH: Storm-induced BEACH CHange Model. U.S Army Engineer Research and Development Center. URL: <https://chl.erdc.dren.mil/sbeach/> (дата звернення: 15.06.2023)
  62. SEAPODYM: Spatial Ecosystem And Population Dynamics Model. NOAA Fisheries Southwest Fisheries Science Center. URL: <https://swfsc.noaa.gov/textblock.aspx?Division=FED&ParentMenuId=215&id=2065> (дата звернення: 15.06.2023)
  63. SEAPODYM: Spatial Ecosystem And Population Dynamics Model. URL: <https://seapodym.github.io/> (дата звернення: 15.06.2023)
  64. SeaBASS: SeaWiFS Bio-optical Archive and Storage System . NASA Goddard Space Flight Center. URL: <https://seabass.gsfc.nasa.gov/> (дата звернення: 15.06.2023)
  65. SELFE: Semi-implicit Eulerian-Lagrangian Finite Element model for cross-scale ocean circulation. URL: <https://sourceforge.net/projects/selfe/> (дата звернення: 15.06.2023)
  66. STELLA® Professional Software isee systems inc... URL: <https://www.iseesystems.com/store/products/stella-professional.aspx> (дата звернення: 15.06.2023)
  67. SWAN: Simulating WAVes Nearshore Model. URL: <http://swanmodel.sourceforge.net/> (дата звернення: 15.06.2023)
  68. TELEMAC-MASCARET System. URL: <http://www.opentelemac.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
  69. WAVEWATCH Model System . NOAA National Centers for Environmental Prediction Environmental Modeling Center Marine Modeling and Analysis Branch. URL: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/> (дата звернення: 15.06.2023)
  70. WAVEWATCH III® Model System. NOAA National Centers for Environmental Prediction Environmental Modeling Center Marine Modeling and Analysis Branch. URL: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/> (дата звернення: 15.06.2023)
  71. Marine Spatial Planning. MSPGLOBAL2030. URL: <https://www.mspglobal2030.org/wp-content/uploads/2020/04/Marine-Spatial-Planning-1.pdf> (дата звернення: 15.06.2023)
  72. Humphreys J., Clark R. W. E. A critical history of marine protected areas. In Science, Policy and Management. Elsevier. 2020. Pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102698-4.00001-0>
  73. Ecosystem-based approach. The European Maritime Spatial Planning Platform. URL: <https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/faq/ecosystem-based-approach>
  74. Levine A., Lopez-Carr D. Marine resource management: Culture, livelihoods, and governance. *Applied Geography*. 2015. Pp. 56-59. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.016>
  75. Botero C. M., Milanés C. B., Robledo S. 50 years of the Coastal Zone Management Act: The bibliometric influence of the first coastal management law on the world. *Marine Policy*. 2023. 150. 105548. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105548>
  76. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. L 164. Pp. 19-40. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0056> (дата

звернення: 15.06.2023)

77. From blue growth to sustainable blue economy: a new approach for the EU. *Interreg Europe*. 2021. URL: <https://interregeurope.eu/policy-learning-platform/news/from-blue-growth-to-sustainable-blue-economy-a-new-approach-for-the-eu/>
78. Consistent Risk Management in a Changing World: Risk Equivalence in Fisheries and Other Human Activities Affecting Marine Resources and Ecosystems / Roux M. J., Duplisea D. E., Hunter K. L., Rice J. *Frontiers in Climate*. 2022. # 3. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.781559>
79. Mynott F., Lonsdale J., Stamford T. Developing an Ecological Risk Assessment to Effectively Manage Marine Resources in Data-Limited Locations: A Case Study for St Helena Sand Extraction. *Frontiers in Marine Science*. 2021. #8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.645225>
80. Evaluation of ecosystem-based marine management strategies based on risk assessment / Borja A., Elliott M., Andersen J. H., Berg T. et al. *Biological Conservation*. 2016. #200. Pp. 448-459. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.012>

## REFERENCES

1. *United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World's Population Increasingly Urban with More Than Half Living in Urban Areas.* Available at: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-urbanization-prospects.html> (Accessed 15.06.2023)
2. Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>
3. Bland, L.M. et al. (2018b). Developing a standardized definition of ecosystem collapse for risk assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(1), pp. 29-36. <https://doi.org/10.1002/fee.1747>
4. Fischhoff, B. et al. (1981). *Acceptable Risk*. Cambridge University Press.
5. Renn, O. (2008). *Risk Governance: Coping with Uncertainty in a Complex World*. Earthscan. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6799-0>
6. Harremoës, P. et al. (2002). *The Precautionary Principle in the 20th Century: Late Lessons from Early Warnings*. Earthscan.
7. Valderrábano, M. et al. (2021). *Using ecosystem risk assessment science in ecosystem restoration: a guide to applying the Red List of Ecosystems to ecosystem restoration*. IUCN Global Ecosystem Management Programme. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.19.en>
8. Suter II, G.W. et al. (2018). Assessing and managing multiple risks in a changing world — The Roskilde recommendations. *Environmental Toxicology and Chemistry*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20820.19842>
9. Costanza, R. de Groot et al. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, pp. 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
10. Elliott, M., Borja, Á., & Cormier, R. (2020). Managing marine resources sustainably: A proposed integrated systems analysis approach. *Ocean & Coastal Management*, 197, 105315. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105315>
11. Komorin, V. (2021). Assessment of the Black sea shelf ecosystem sustainability with mathematical simulation method. *Geographia Technica*, 16(2), pp. 19–28. [https://doi.org/10.21163/GT\\_2021.162.02](https://doi.org/10.21163/GT_2021.162.02)
12. Justus, J. (2008). Ecological and Lyapunov Stability. *Philosophy of Science*, 75(4), pp. 421-436. <https://doi.org/10.1086/595836>
13. Maxim, L., Spangenberg, J.H., & O'Connor, M. (2009). An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics*, 69(1), pp. 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.03.017>
14. Rapport, D.J., Costanza, R., & McMichael, A.J. (1998). Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(10), pp. 397-402. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01449-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01449-9)
15. Slobodnik, J. et al. (2020). National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016: Final Scientific Report. Dnipro: Seredniak T.K. Available at: [https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II\\_NPMS\\_JOSS\\_2016\\_ScReport\\_ISBN-978-617-7953-60-8-2.pdf](https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II_NPMS_JOSS_2016_ScReport_ISBN-978-617-7953-60-8-2.pdf)
16. Slobodnik, J. et al. (2020). 12-Months National Pilot Monitoring Studies in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016-2017: Final Scientific Report. Dnipro: Seredniak T.K. Available at: [https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II\\_NPMS\\_12\\_months-2016\\_2017\\_ISBN-978-617-7953-58-5.pdf](https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II_NPMS_12_months-2016_2017_ISBN-978-617-7953-58-5.pdf)
17. Slobodnik J. et al. (2020). National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2017: Final Scientific Report. Dnipro: Seredniak T.K. Available at: [https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II\\_NPMS\\_JOSS\\_2017\\_ScReport\\_ISBN-978-617-7953-62-2.pdf](https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II_NPMS_JOSS_2017_ScReport_ISBN-978-617-7953-62-2.pdf)
18. De Groot, R.S. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7, pp. 260-272. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>
19. Edward, B. Barbier. (2017). Marine ecosystem services. *Current Biology*, 27(11), 5 June 2017, pp. R507-R510
20. Liqueste, C. et al. (2013). Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine and Coastal Ecosystem Services: A Systematic Review. *Review of Marine and Coastal Ecosystem Services*, July 2013, 8(7).
21. Maes, J. et al. (2016). An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosystem Services*, 17, pp. 14-23. Available at: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> – 10.09.2018
22. Odum, Eugene P. (1953). *Fundamentals of ecology*. Philadelphia: W. B. Saunders Company.
23. Aps, R. et al. (2018). Marine environmental vulnerability and cumulative risk profiles to support ecosystem-based adaptive maritime spatial planning. *ICES Journal of*

- Marine Science*, 75(7), pp. 2488-2500. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy101>
24. Rilov, G. et al. (2019). Adaptive marine conservation planning in the face of climate change: What can we learn from physiological, ecological and genetic studies?. *Global Ecology and Conservation*, 17, e00566. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00566>
  25. ADCIRC. Available at: <https://adcirc.org/> (Accessed 15.06.2023)
  26. APECOSM. Available at: <https://apecosm.org/> (Accessed 15.06.2023)
  27. AQUATOX. United States Environmental Protection Agency. Available at: <https://www.epa.gov/ceam/aquatox> (Accessed 15.06.2023)
  28. Atlantis. CSIRO. Available at: <https://research.csiro.au/atlantis/> (Accessed 15.06.2023)
  29. Bio-ORACLE. Available at: <https://bio-oracle.org/> (Accessed 15.06.2023)
  30. CMS-Wave. Aquaveo. Available at: <https://www.aquaveo.com/software/sms-cms-wave> (Accessed 15.06.2023)
  31. COPEPOD. NOAA Fisheries. Available at: <https://www.st.nmfs.noaa.gov/copepod/> (Accessed 15.06.2023)
  32. Copernicus Marine Environment Monitoring Service. Available at: <https://marine.copernicus.eu> (Accessed 15.06.2023)
  33. COMF. British Oceanographic Data Centre. Available at: [https://www.bodc.ac.uk/projects/data\\_management/comf/](https://www.bodc.ac.uk/projects/data_management/comf/) (Accessed 15.06.2023)
  34. COMSOL Multiphysics® Software. COMSOL Inc... Available at: <https://www.comsol.com/> (Accessed 15.06.2023)
  35. DEB-IBM. DEB Theory Wiki. Available at: <http://www.debtheory.org/wiki/index.php?title=DEB-IBM> (Accessed 15.06.2023)
  36. Delft3D Flexible Mesh Suite (Delft3D FM). Deltares. Available at: <https://www.deltares.nl/en/software/delft3d-flexible-mesh-suite/> (Accessed 15.06.2023)
  37. DEB Theory Wiki Main Page. DEB Theory Wiki. Available at: [http://www.debtheory.org/wiki/index.php?title=Main\\_Page](http://www.debtheory.org/wiki/index.php?title=Main_Page) (Accessed 15.06.2023)
  38. ECOMSED Model System for Estuaries and Coastal Watersheds. Available at: <http://ecomsed.org/> (Accessed 15.06.2023)
  39. Ecopath with Ecosim - EwE. Available at: <http://ecopath.org/> (Accessed 15.06.2023)
  40. ECOSMO Model System for Estuaries and Coastal Watersheds. Southern California Coastal Water Research Project Authority. Available at: <http://www.sccwrp.org/ecosmo-model/> (Accessed 15.06.2023)
  41. Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC). United States Environmental Protection Agency. Available at: <https://www.epa.gov/exposure-assessment-models/environmental-fluid-dynamics-code-efdc> (Accessed 15.06.2023)
  42. Using 2D Models for Tidal Current Forecasting. Hydro International. Available at: <https://hydro-international.com/content/article/using-2d-models-for-tidal-current-forecasting> (Accessed 15.06.2023)
  43. ERSEM: European Regional Seas Ecosystem Model. Available at: <http://ecomarres.com/downloads/ERSEM.pdf> (Accessed 15.06.2023)
  44. FVCOM: Finite Volume Community Ocean Model. Available at: <http://fvcom.smast.umassd.edu/> (Accessed 15.06.2023)
  45. GEMSS: Global Earth-system Management and Sustainability System. Available at: <http://earthsystemgovernance.org/gemss/> (Accessed 15.06.2023)
  46. GOTM: General Ocean Turbulence Model. Available at: <http://gotm.net/> (Accessed 15.06.2023)
  47. GROMS: Global Register of Migratory Species. Available at: <http://groms.eu/> (Accessed 15.06.2023)
  48. M3: Modular Ocean Model 3. Available at: <http://m3.soest.hawaii.edu/> (Accessed 15.06.2023)
  49. MARES: Marine Ecosystem Health and Conservation. Available at: <http://mares-eu.org/> (Accessed 15.06.2023)
  50. MareMIP: Marine Ecosystem Model Intercomparison Project. Available at: <http://www.maremip.eu/> (Accessed 15.06.2023)
  51. MATLAB® Software. MathWorks® Software. Available at: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (Accessed 15.06.2023)
  52. MICE: Models of Intermediate Complexity for Ecosystem assessments. Available at: <https://research.csiro.au/mice/> (Accessed 15.06.2023)
  53. MIKE 21. DHI. Available at: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-21> (Accessed 15.06.2023)
  54. MIKE 3. DHI. Available at: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-21-3> (Accessed 15.06.2023)
  55. MIKE ECO Lab. DHI. Available at: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-eco-lab> (Accessed 15.06.2023)
  56. MIMES: Multiscale Integrated Models of Ecosystem Services. Available at: <http://mimesproject.org/> (Accessed 15.06.2023)
  57. MIKE ECO. Available at: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-eco-lab> (дата звернення: 15.06.2023) (Accessed 15.06.2023)
  58. Ocean Data View (ODV). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research. Available at: <https://odv.awi.de/> (Accessed 15.06.2023)
  59. OSMOSE: Object-oriented Simulator of Marine ecOSystems Exploitation. European Commission Joint Research Centre. Available at: <https://ec.europa.eu/jrc/en/osmose> (Accessed 15.06.2023)
  60. ROMS: Regional Ocean Modeling System. Available at: <https://www.myroms.org/> (Accessed 15.06.2023)
  61. SBEACH: Storm-induced BEAch CHange Model. U.S Army Engineer Research and Development Center. Available at: <https://chl.erd.c.dren.mil/sbeach/> (Accessed 15.06.2023)
  62. SEAPODYM: Spatial Ecosystem And Population Dynamics Model. NOAA Fisheries Southwest Fisheries Science Center. Available at: <https://swfsc.noaa.gov/textblock.aspx?Division=FED&ParentMenuId=215&id=2065> (Accessed 15.06.2023)
  63. SEAPODYM: Spatial Ecosystem And Population Dynamics Model. Available at:

- <https://seapodym.github.io/> (Accessed 15.06.2023)
64. *SeaBASS: SeaWiFS Bio-optical Archive and Storage System*. NASA Goddard Space Flight Center. Available at: <https://seabass.gsfc.nasa.gov/> (Accessed 15.06.2023)
  65. *SELFE: Semi-implicit Eulerian-Lagrangian Finite Element model for cross-scale ocean circulation*. Available at: <https://sourceforge.net/projects/selfe/> (Accessed 15.06.2023)
  66. *STELLA® Professional Software isee systems inc...* Available at: <https://www.iseesystems.com/store/products/stella-professional.aspx> (Accessed 15.06.2023)
  67. *SWAN: Simulating Waves Nearshore Model*. Available at: <http://swanmodel.sourceforge.net/> (Accessed 15.06.2023)
  68. *TELEMAC-MASCARET System*. Available at: <http://www.opentelemac.org/> (Accessed 15.06.2023)
  69. *WAVEWATCH Model System*. NOAA National Centers for Environmental Prediction Environmental Modeling Center Marine Modeling and Analysis Branch. Available at: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/> (Accessed 15.06.2023)
  70. *WAVEWATCH III® Model System*. NOAA National Centers for Environmental Prediction Environmental Modeling Center Marine Modeling and Analysis Branch. Available at: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/> (Accessed 15.06.2023)
  71. *Marine Spatial Planning. MSPGLOBAL2030*. Available at: <https://www.mspglobal2030.org/wp-content/uploads/2020/04/Marine-Spatial-Planning-1.pdf> (Accessed 15.06.2023)
  72. Humphreys, J. & Clark, R.W.E. (2020). A critical history of marine protected areas. In *Science, Policy and Management*. Elsevier, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102698-4.00001-0>
  73. *Ecosystem-based approach. The European Maritime Spatial Planning Platform*. URL: <https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/faq/ecosystem-based-approach>
  74. Levine, A., & Lopez-Carr, D. (2015). Marine resource management: Culture, livelihoods, and governance. *Applied Geography*, 59, pp. 56-59. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.016>
  75. Botero, C.M., Milanes, C.B., & Robledo, S. (2023). 50 years of the Coastal Zone Management Act: The bibliometric influence of the first coastal management law on the world. *Marine Policy*, 150, 105548. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105548>
  76. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*, L 164, pp. 19-40. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0056> (Accessed 15.06.2023)
  77. *From blue growth to sustainable blue economy: a new approach for the EU. (2021, June 15)*. Interreg Europe. Available at: <https://interregeurope.eu/policy-learning-platform/news/from-blue-growth-to-sustainable-blue-economy-a-new-approach-for-the-eu/>
  78. Roux, M.J., Duplisea, D.E., Hunter, K.L., & Rice, J. (2022). Consistent Risk Management in a Changing World: Risk Equivalence in Fisheries and Other Human Activities Affecting Marine Resources and Ecosystems. *Frontiers in Climate*, 3, <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.781559>
  79. Mynott, F., Lonsdale, J., & Stamford, T. (2021). Developing an Ecological Risk Assessment to Effectively Manage Marine Resources in Data-Limited Locations: A Case Study for St Helena Sand Extraction. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.645225>
  80. Borja, A., et al. (2016). Evaluation of ecosystem-based marine management strategies based on risk assessment. *Biological Conservation*, 200, pp. 448-459. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.012>

## THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF SEA ECOSYSTEM RISKS MANAGEMENT

**V. M. Komorin**

*SRO "Ukrainian Scientific Center of Ecology of the sea"  
French Boulevard, 89, 65009, Odesa, Ukraine, [vkomorin@gmail.com](mailto:vkomorin@gmail.com)*

In the context of worsening anthropogenic impact, climate change and natural disasters, the problem of managing the sea areas' ecosystem risks is becoming quite important. This research aims at exploring the modern theoretical and methodological aspects of the aforesaid scientific orientation and focuses on the analysis and evaluation of existing concepts and strategies.

The article analyses main terms and principles and also presents a conceptual model for managing the sea ecosystem risks that plays a key role in reflecting the main theoretical components and their interrelationships. The model contributes to a better understanding of the structure and characteristics of this theory, emphasizing the complexity of interactions between

socio-economic systems and marine ecosystems, as well as the risks arising from such interactions. The main elements of the model include natural and anthropogenic factors and consider their impact on the state of marine ecosystems and the risks associated therewith. The model also focuses on well-being, ecosystem stability and biodiversity, i.e. the parameters determining the status and functionality of marine ecosystems.

The research presents a comparative analysis of various methodologies and strategies of ecosystem risks management. The analysis allowed identification of the most effective of them at certain stages of creating an optimum strategy for managing the ecosystem risks. Risk management strategies can be implemented using a variety of tools, such as marine spatial planning, creation of marine protected areas, basic ecosystem management, resource management, and a marine environmental quality management system developed in accordance with the requirements of the EU Marine Strategy Directive. These strategies integrate different approaches to managing the ecosystem risks and contribute to conservation of ecosystems ensuring the marine environment stability.

The work made it possible to open up the prospects for further scientific research, namely development of hypotheses in order to increase theoretical knowledge and develop practical recommendations in the field of management of water areas' ecosystem risks.

The conclusions of the research are aimed at creating a theoretical and methodological base that will contribute to analyzing and developing effective strategies for managing the water areas' ecosystem risks.

**Keywords:** ecosystem risks; risk management; water areas; environmental socio-economic systems; sustainability of marine ecosystems; conceptual model; management strategies.

*Подання до редакції : 18. 06. 2023*

*Надходження остаточної версії : 21. 06. 2023*

*Публікація статті : 29. 06. 2023*