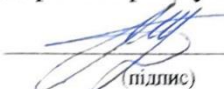


УДК 004.056/502.3
УКПП
№ держресстрації 0119 U003671
Інв. № _____

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ОДЕКУ)
65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15; тел/факс (0482) 32-67-40

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи ОДЕКУ
д-р.геогр.наук, проф.

 Ю.С. Тучковенко
(підпис)

2023.12. _____

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

**ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ І ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ЗАДАЧАХ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЙ**

(заключний)

Науковий керівник НДР

канд. геогр. наук, доцент

професор кафедри інформаційних технологій


(підпис)

С.Д. Кузніченко

2023

Рукопис закінчено 30 листопада 2023 р.

Результати роботи розглянуто Науково-технічною радою ОДЕКУ,
протокол від 21 грудня 2023 р №6

СПИСОК АВТОРІВ

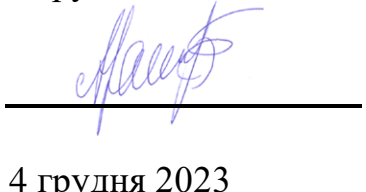
Керівник НДР,
Канд. геогр. наук, доцент



С.Д. Кузніченко
(вступ, підрозділи 1.1.1-
1.1.2, 2.1.1-2.1.2, 3.1.1-
3.1.2, 4.1.1, висновки)

4 грудня 2023

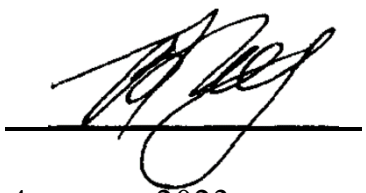
Відповідальний
виконавець:
Канд. техн. наук, доцент



О.О. Фразе-Фразенко
(підрозділи 1.2.4,
2.3.1,3.3.1, 4.2.3-4.2.4,
заключний звіт)

4 грудня 2023

Виконавці:
Канд. ф.-м. наук, доцент



В.П. Козловська
(підрозділи 1.3.3-1.3.4,
2.3.2,3.3.2)

4 грудня 2023

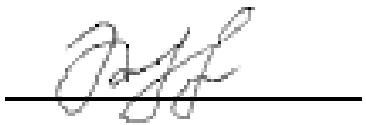
Зав. каф. д.техн. наук,
професор



Н.Ф. Казакова
(підрозділи 1.2.5, 2.2.2-
2.2.3, 3.2.2-3.2.3, 4.2.1-
4.2.2)

4 грудня 2023

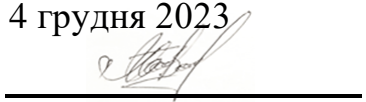
Канд. техн. наук, доцент



Т.М. Терещенко
(підрозділи 1.3.2, 2.2.1,
3.2.1, 4.2.5)

4 грудня 2023

Д-р філософії з комп.
наук, доцент



І.В. Бучинська
(підрозділи 1.3.1, 2.3.5,
3.3.5, 4.3.1)

4 грудня 2023

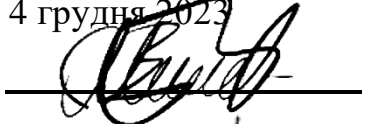
Канд. екон. наук, доцент



С.С. Погасій
(підрозділ 4.3.2)

4 грудня 2023

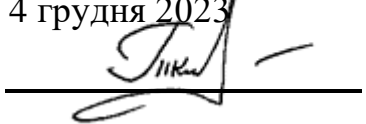
Канд. екон. наук, доцент



С.В. Мілевський
(підрозділ 4.3.3)

4 грудня 2023

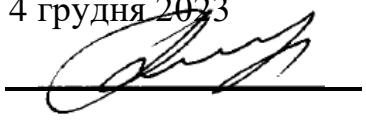
Канд. фіз.-мат. наук,
старший викладач



Т.Б. Ткач
(підрозділ 4.4.1)


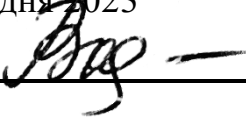
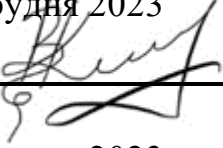
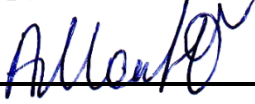
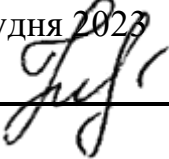
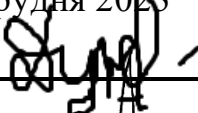
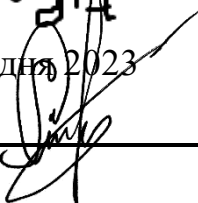
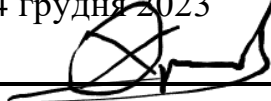
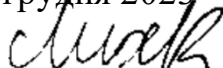

4 грудня 2023

Старший викладач



В.Б. Рольщиков
(підрозділ 1.2.2)

4 грудня 2023

Старший викладач	 _____	Н.З. Штефан (підрозділи 1.2.1, 2.3.4, 3.3.4, 4.4.2)
	4 грудня 2023	
Старший викладач	 _____	Т.Б. Voxменцева (підрозділи 1.3.5, 4.4.3)
	4 грудня 2023	
Асистент	 _____	В.В. Клепатська (підрозділи 1.2.3.2, 2.3.6, 3.3.6, 4.5.1)
	4 грудня 2023	
Асистент	 _____	А.Ю. Молчанова (підрозділи 2.4.7-2.4.9, 3.4.7-3.4.9, 4.5.2)
	4 грудня 2023	
Асистент	 _____	І.А. Гадяцький (підрозділи 2.4.4- 2.4.6, 4.4-3.4.6, 4.5.3)
	4 грудня 2023	
Аспірант	 _____	С.В. Дунаєв (підрозділ 4.6.1)
	4 грудня 2023	
Асистент	 _____	А.Ю. Стрельникова (підрозділ 4.6.2)
	4 грудня 2023	
Аспірант	 _____	А.О. Охрименко (підрозділ 1.1.3)
	4 грудня 2023	
Магістр	 _____	К.Д. Ліхачев (підрозділ 1.2.3.1)
	4 грудня 2023	
Магістр	 _____	О.В. Фігель (підрозділи 2.4.1-2.4.3, 3.4.1-3.4.3)
	4 грудня 2023	

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР має 285 сторінок, містить 74 рисунка, 20 таблиць, 149 джерел посилань і 1 додаток.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, РАСТРУВАННЯ, СПЛАЙН, РЕІНЖІНІРИНГ, ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, ОБРОБКА ПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ, БЕЗПЕКА, ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, ЦИФРОВА МОДЕЛЬ РЕЛЬЄФУ, КАРТИ МІСЦЕВОСТІ, МЕТОДИ КЛАСИФІКАЦІЇ ДАНИХ, КРИТИЧНА ІНФРАСТРУКТУРА, ОБРОБКА ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ.

Об'єкт дослідження – технології підтримки прийняття рішень в задачах оцінки та прогнозування екологічної безпеки територій

Предмет дослідження – теоретичні та практичні аспекти застосування інформаційних технологій, моделей, методів та методик в задачах оцінки та прогнозування стану екологічної безпеки територій

Мета роботи – розробка нових та вдосконалення існуючих геоінформаційних та інтелектуальних методів підтримки прийняття рішень в задачах оцінки та прогнозування екологічної небезпеки територій.

Актуальність роботи полягала у необхідності впровадження досягнень науки і техніки в природоохоронну діяльність для забезпечення високого економіко-екологічного ефекту при використанні на практиці. Застосування геоінформаційних та інтелектуальних технологій у цьому контексті дозволяє точно аналізувати стан навколишнього середовища, передбачати можливі ризики та ефективно втручатися для забезпечення екологічної безпеки територій.

Методи дослідження – методи математичного моделювання, методи просторового аналізу із використанням апарату нечіткої логіки, методологія структурного проектування інформаційних систем, методи та засоби

концептуального, логічного та фізичного проектування баз даних, геоінформаційні і картографічні методи дослідження.

Результатами виконання НДР є:

Розроблено метод геопросторового багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню об'єктів твердих побутових відходів, який є ГІС-орієнтованим і відрізняється від існуючих тим, що формалізує нечітку інформацію про допустиму форму компромісу між оцінками альтернатив за різними критеріями, що дозволяє виконати ранжування альтернатив за ступенем придатності для розміщення об'єктів твердих побутових відходів з урахуванням різних стратегій прийняття рішень.

Удосконалено прикладну інформаційну технологію геопросторового багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню об'єктів твердих побутових відходів, яка дозволяє врахувати вимоги екологічних та санітарно-будівельних норм з метою зменшення негативного впливу об'єкту на навколишнє середовище та автоматизувати процес обробки вихідної геопросторової інформації та ранжування територій за ступенем придатності для розміщення об'єктів твердих побутових відходів.

Виконано практичну реалізацію запропонованих методів і моделей у вигляді просторової системи підтримки прийняття рішень, яка була протестована для вирішення задачі ранжування території півдня Одеської області за ступенем придатності для розміщення полігону твердих побутових відходів при різних стратегіях прийняття рішень. Доведено, що використання запропонованої системи підтримки прийняття рішень дозволяє отримати скорочення часу на аналіз територій (за окремими етапами на 65–75%) в порівнянні з традиційними способами, скорочення часу передпроектних робіт в 1.5 рази, зниження ймовірності виникнення помилок за рахунок автоматизації всіх етапів аналізу, а також підвищення обґрунтованості рішень завдяки формалізації нечіткої інформації про переваги та схильності до ризику при прийнятті рішень.

Розроблено програмне забезпечення для оцінки динаміки змін стану земель сільськогосподарського призначення півдня Одеської області з використанням методів збору і обробки даних ДЗЗ та сучасних ГІС-технологій.

Проведено дослідження засобів оцінки захищеності систем критичної інфраструктури та аналіз стану впровадження інформаційних систем для доступу споживачів до відкритої інформації про поточний стан екологічної безпеки. Особливу увагу було приділено дослідженню властивостей систем захисту критичної інформаційної інфраструктури критичної інфраструктури.

В напрямки магістерських досліджень впроваджено питання розробки застосунків для моніторингу поточного екологічного стану. Результати досліджень впроваджено у навчальний процес кафедри інформаційних технологій Одеського державного екологічного університету. Так, розроблено мобільний застосунок для моніторингу екологічного стану на платформі андроїд, використовуються при підготовці навчально-методичної літератури та дипломних робіт на здобуття освітнього рівня «Бакалавр» та «Магістр» та освітньо-наукового рівня PhD (доктор філософії).

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	12
РОЗДІЛ 1. ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ І ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПО УПРАВЛІННЮ ВІДХОДАМИ НА ТЕРИТОРІЇ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	16
1.1 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ.....	19
1.1.1 <i>Аналіз сучасного стану в сфері поводження з відходами в Україні.</i>	19
1.1.2 <i>Постановка проблеми</i>	23
1.1.3 <i>Дослідження методів багатокритеріального аналізу рішень.....</i>	26
1.2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ГЕОПРОСТОРОВОГО БКАР ПО РОЗМІЩЕННЮ ПОЛІГОНІВ ТПВ	37
1.2.1 <i>Структура геопросторових даних про розміщення об'єктів ТПВ ..</i>	37
1.2.2 <i>Нечітка модель обробки геопросторової інформації про розміщення об'єктів ТПВ</i>	41
1.2.3 <i>Нечітка модель БКАР по розміщенню об'єктів ТПВ</i>	47
1.3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ БКАР ПО РОЗМІЩЕННЮ ОБ'ЄКТІВ ТПВ (НА ПРИКЛАДІ ПІВДНЯ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ)	58
1.3.1 <i>Територія дослідження.....</i>	58
1.3.2 <i>Визначення критеріїв оцінки та побудова ієрархічної структури прийняття рішень</i>	59
1.3.3 <i>Аналіз придатності з використанням булевої логіки</i>	62
1.3.4 <i>Аналіз придатності з використанням нечіткої логіки.....</i>	63
1.3.5 <i>Аналіз придатності з використанням методу зваженого лінійного комбінування</i>	66
1.4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ БКАР ПО РОЗМІЩЕННЮ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ	69
1.4.1 <i>Приклад побудови карт придатності з використанням різних методів БКАР.....</i>	69

1.4.2 Основні результати дослідження.....	70
Висновки до розділу 1	72
РОЗДІЛ 2. ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЗЗ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТАНУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПО-ДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	75
2.1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ, ПОВ’ЯЗАНОЇ З ОЦІНКОЮ СТАНУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	76
2.1.1 Актуальність роботи.....	76
2.1.2 Визначення та причини деградації земель	78
1.2.3 Опис об’єкту дослідження	81
2.2 ОПИС ВИКОРИСТАНИХ ДАНИХ ТА МЕТОДІВ ОБРОБКИ	83
2.2.1 Дані дистанційного зондування Землі	83
2.2.2 Характеристика вегетаційних індексів.....	96
2.2.3 Обробка космічних знімків.....	102
2.2.4 Характеристика алгоритму проведення аналізу даних	108
2.2.5 Опис використаних програмних засобів.....	109
2.3 ОПИС ЕТАПІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	111
2.3.1 Опис вихідних даних дослідження.....	111
2.3.2 Дешифрування знімків ДЗЗ.....	118
2.3.3 Основні класифікації знімків ДЗЗ.....	124
2.3.4 Аналіз отриманих результатів	129
2.3.5 Створення інтерактивної карти проекту	131
Висновки до розділу 2.....	133
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗАХИЩЕНОСТІ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	135
3.1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	136
3.1.1. Актуальність роботи.....	136
3.1.2. Інформаційна взаємодія систем моніторингу довкілля.....	137

3.2 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	139
3.2.1. Законодавство у сфері безпеки критичної інфраструктури та систем моніторингу.....	139
3.2.2. Криптографічні системи захисту.....	149
3.2.3. Сучасні методи оцінки якості криптографії.....	151
3.3 ОПИС ЕТАПІВ ПЛАНУВАННЯ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ.....	164
3.3.1 Розробка політики оцінки безпеки	164
3.3.2 Розставлення пріоритетів та планування оцінок.....	165
3.3.3 Вибір і налаштування техніки	168
3.3.4 Логістика оцінки.....	171
3.3.5 Розробка плану оцінки	171
3.3.6 Правові міркування	176
3.4 ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ КЛЮЧОВОГО ФАЙЛУ.....	177
3.4.1 Ключовий файл	177
3.4.2 Інформаційна ентропія файлу.....	181
3.4.3 Графік послідовності	184
3.4.4 Гістограма послідовності	185
3.4.5 Розподіл на площині	186
3.4.6 Перевірка на монотонність	187
3.4.7 Перевірка серій.....	188
3.4.8 Автокореляційна функція.....	189
3.4.9 Дослідження надійності ключового файлу.....	190
Висновки до розділу 3	192

РОЗДІЛ 4. ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ І ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ МАСШТАБУ ТА НЕБЕЗПЕКИ ПОВЕНЕЙ..... 194

4.1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ	196
4.1.1 Аналіз попередніх досліджень у галузі ГІС для управління повенями.	196

4.2 ФОРМУЛЮВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ МАСШТАБІВ ТА НЕБЕЗПЕКИ ПОВЕНЕЙ ЗАСОБАМИ ГІС.....	199
4.2.1 <i>Визначення методів збору геоінформаційних та метеорологічних даних.....</i>	199
4.2.2 <i>Розробка математичних моделей та алгоритмів для прогнозування повеней</i>	201
4.2.3 <i>Вибір і розробка інтелектуальних систем для аналізу та прийняття рішень.....</i>	203
4.2.4 <i>Нейро-нечітка система для обробки та інтеграції різних типів геоінформаційних даних</i>	206
4.2.5 <i>Система безпеки для підтримки нейро-нечіткої системи</i>	209
4.3 ЗБІР ТА ОБРОБКА ДАНИХ ДОСЛІДЖЕННЯ	219
4.3.1 <i>Збір геоінформаційних та метеорологічних даних для аналізу повеней</i>	219
4.3.2 <i>Обробка та підготовка даних для моделювання та аналізу.....</i>	222
4.3.3 <i>Використання геоінформаційного програмного забезпечення для створення карт та геопросторового аналізу</i>	230
4.4 РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ТА АЛГОРИТМІВ	234
4.4.1 <i>Розробка математичних моделей для прогнозування повеней</i>	234
4.4.2 <i>Реалізація алгоритмів і інтелектуальних систем</i>	238
4.4.3 <i>Проведення тестів та аналіз результатів.....</i>	242
4.5. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ВИСНОВКИ	243
4.5.1 <i>Аналіз отриманих результатів дослідження</i>	244
4.5.2 <i>Визначення ефективності використаних геоінформаційних та інтелектуальних технологій.....</i>	248
4.5.3 <i>Формулювання висновків щодо досягнутих результатів та їхньої важливості для управління повенями</i>	252
4.6. РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ПОДАЛЬШІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕННЯ	255

<i>4.6.1 Формулювання рекомендацій для вдосконалення систем управління повеннями з використанням геоінформаційних і інтелектуальних технологій.....</i>	<i>256</i>
<i>4.6.2 Визначення подальших напрямків дослідження в даній області....</i>	<i>260</i>
Висновки до розділу 4.....	264
ВИСНОВКИ	266
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	270
ДОДАТКИ	286
Додаток А КАРТИ ІНДЕКСУ NDVI ЗА ПЕРІОД ВЕГЕТАЦІЇ	287

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

AHP – Analytic Hierarchy Process – метод аналізу ієрархій

AJAX – Asynchronous Javascript and XML.

API – Application Programming Interface.

ARVI – Atmospheric Resistant Vegetation Index

AWS – Amazon Web Services

Big Data – Великі дані

Boundary testing – Валідація вхідних даних і робота на межах

C.I. – Consistency Index

C.R. – Consistency Ratio

CIO – Chief information officer

CIRT – Critical Incident Response Team

CMS – Copernicus Emergency Management Service

CTO – A chief technical officer

DN – Digital Number

Debugging – Налагодження

DoS – Denial-of-service attack

ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

EOSDIS – Earth Observing System Data and Information System

ESA – European Space Agency

EVI – Enhanced Vegetation Index

Eurocontrol – Європейська організація з аеронавігації в цивільній авіації

FAHP – Fuzzy Analytic Hierarchy Process – нечіткий метод аналізу ієрархій

FTP – File Transfer Protocol

Frequency Encoding – кодування за частотою

GFM – Global Flood Monitor

GPS – Global Positioning System

GUI – Графічний інтерфейс користувача

HTTP – Hypertext Transfer Protocol

ICMP – Internet Control Message Protocol

IDS – Intrusion detection system

IIS – Internet Information Server

IS – Інформаційна безпека

ISODATA – Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm

ISSAF – Information System Security Assessment Framework.

Integration testing – Інтеграційне тестування

IoT – Інтернет речей

LAN – Local area network

LOF – Local Outlier Factor

Label Encoding – кодування міток

MCDA – Multi-Criteria Decision Analysis

Min-Max Scaling – Нормалізація

NAT – Network address translation

NCEI – National Centers for Environmental Information

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

NIST – National Institute of Standards and Technology.

NOAA – Національна аеронавігаційна та атмосферна адміністрація США

NSE – Nmap Scripting Engine.

NetBIOS – Network Basic Input/Output System

ORT – Outranking Relation Theory – теорія відношення переваги

OSSTMM – Open Source Security Testing Methodology Manual.

OWA – Ordered Weighted Averaging – впорядковане зважене усереднення

OWASP – Open Web Application Security Project.

Overfitting – Перенавчання

PTES – Penetration Testing Methodologies and Standards.

PVI – Perpendicular Vegetation Index

ROI – Regions Of Interest

Real-world scenario testing – Тестування реальних умов

SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index

SI – безпека інформації

SQL – Structured Query Language.

SSN – Social Security number

Standardization – Стандартизація

TCP – Transmission Control Protocol

TF-IDF – term frequency-inverse document frequency

TFTP – Trivial File Transfer Protocol

Target Encoding – кодування відповіді

Test set – Тестувальний набір

USGS – United States Geological Survey

Unit testing – Одиниць тестування

VM – Virtual machine

VPN – A virtual private network

Validation set – Валідаційний набір

WAN – Wide Area Network

WLAN – A wireless LAN

WLC – Weighted Linear Combination – зважена лінійна комбінація

WMO – World Meteorological Organization

Word2Vec – Word Embeddings

XML – Extensible Markup Language

ІКС – інформаційно-комунікаційні мережі

ІТ – інформаційні технології.

ІЧ – Інфрачервоне випромінювання

БКАР – багатокритеріальний аналіз рішень

ВІ – Вегетаційний індекс

ГІС – Географічні інформаційні системи

ГС – Геологічна служба

ДЗЗ – Дистанційне зондування Землі

КЗ – Космічний знімок

ОКІ – об’єкти критичної інфраструктури

ОПР – особа, що приймає рішення

ОС – операційна система.

ПДРГП – Причорноморське державне регіональне геологічне підприємство

ПЗ – Програмне забезпечення

ППР – підтримки прийняття рішень

ПРЗ – Просторова роздільна здатність

ПС – підсистема.

РЗ – Радіометрична здатність

CS – Кібербезпека

СГП – Сільськогосподарське призначення

ТПВ – тверді побутові відходи

ЦМ – цифрова модель

ЦММ – Цифрова модель місцевості

ЦМР – Цифрова модель рельєфу

ШІ – Штучний інтелект

ШСЗ – Штучні супутники Землі

РОЗДІЛ 1. ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ І ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПО УПРАВЛІННЮ ВІДХОДАМИ НА ТЕРИТОРІЇ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

На сьогоднішній час існує велика кількість проблем, управлінських завдань, що має потребу у застосуванні сучасних методів підтримки прийняття рішень (ППР), частина з яких носить просторовий характер. До таких проблем можна віднести проблему вибору оптимального місця розташування полігону твердих побутових відходів (ТПВ), яка зараз є актуальною і потребує розв'язання не тільки на державному, але і на муніципальному рівнях.

На даний час в Одеській області існує понад 600 полігонів/звалищ твердих побутових відходів площею 1274,9 га, переважна більшість яких працює з порушенням проектних показників щодо обсягів накопичення відходів. Планується будівництво чотирьох нових регіональних полігонів ТПВ і ліквідація існуючих на основі підготовленою Одеською обласною радою Програми поводження з ТПВ в Одеській області на період 2018 – 2022 рр. на території області [1]. В зв'язку з цим актуальним є вибір і обґрунтування місця розміщення полігонів згідно з будівельними та санітарно-екологічними нормами. В той же час необхідно звести до мінімуму економічні та соціальні витрати. Для цього просторова модель підтримки прийняття рішень повинна максимально використовувати наявну просторову інформацію і забезпечити прийнятність результатів аналізу більшості зацікавлених сторін [2].

Прагнення до комплексного використання різних видів інформації, що містить не тільки атрибутивні, але і просторові характеристики, стимулює фахівців застосовувати найкращі способи і засоби отримання і аналізу подібного роду даних для оцінки ситуації, що спостерігається. Світовою та вітчизняною практикою підтверджується, що провідна роль у питаннях вивчення поведінки об'єкта на земній поверхні і побудови на його основі моделей реальних явищ належить геоінформаційних технологій, що поєднує можливості традиційної картографії та інтелектуальної обробки даних у

вигляді географічних інформаційних систем (ГІС).

Зрозуміло, що вирішення подібного завдання не можливо без використання ГІС, яка є ідеальною основою для розробки повнофункціональних просторових систем підтримки прийняття рішень. ГІС здатні збирати, аналізувати, моделювати та відображати просторові дані. Основним обмеженням цих систем є лише відсутність аналітичних можливостей для врахування декількох факторів, що впливають на рішення. З іншого боку, дисципліна теорія прийняття рішень активно розвивається і збагачується новими методами. Тому актуальним підходом є інтеграція цих двох технологій для вирішення просторових завдань оптимізації, що мають багатокритеріальний характер.

Незважаючи на стрімке зростання можливостей сучасної комп'ютерної техніки, обсяги просторової інформації, одержуваної і залученої для аналізу взаємодії промислових і природних об'єктів, ростуть ще швидше: приблизно пропорційно квадрату кількості виробленої матеріальної продукції, тому для вирішення завдань аналізу взаємодії промислових і природних об'єктів виникла необхідність в інтегрованій обробці різномірної, територіально-розподіленої просторової інформації на основі багатовимірні моделей даних і геоінформаційних технологій, яка є актуальною проблемою як в теоретичному, так і в практичному відношенні.

Ціль та задачі дослідження.

Проведені дослідження ставили за мету визначити найбільш придатну ГІС-орієнтовану модель підтримки прийняття рішення в умовах невизначеності переваг експертів для вирішення проблеми пошуку оптимального місця розташування полігону ТПВ (на прикладі півдня Одеської області). ГІС-орієнтована модель дозволить отримати більш інформативну агреговану карту придатності. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

– створити методично обґрунтовану ієрархічну структуру прийняття рішення по розміщенню полігону ТПВ з урахуванням вимог державних

будівельних норм;

- обґрунтувати вибір набору критеріїв та альтернатив,
- обґрунтувати вибір та удосконалення методи стандартизації атрибутів альтернатив, розрахунку ваг важливості критеріїв та агрегування оцінок альтернатив за різними критеріями;
- проаналізувати та порівняти результати моделювання карти придатності на основі використання різних методів агрегування: булевого накладання (boolean overlay), нечіткого накладання (fuzzy overlay) та зваженого накладання (weighted overlay).

Задачі аналізу які взаємодіють в різних середовищах ґрунтуються на обробці просторових даних. Разом з ними застосовують громіздкі масиви атрибутивних даних, зібраних з традиційних систем обробки інформації. З цього випливає, що при виборі підходів необхідно орієнтуватися на геоінформаційні технології, які дозволять описувати не тільки просторові, а й атрибутивні характеристики процесів, явищ, об'єктів. Досвід показав, що інтеграція різнорідних просторових даних в системах обробки інформації на різних рівнях управління дозволяє домогтися істотного збільшення якості забезпечення ОПР достовірним і повинні суперечити одна одній даними про об'єктах і навколишньому середовищу. У наш час розвивається інтегрований підхід до застосування інформаційних технологій, що передбачає об'єднання не тільки різних додатків, але і різних технологій.

Для вирішення поставлених завдань використані методи системного аналізу складних систем, загальна теорія множин, операційне числення, методологія структурного аналізу і проектування, теорія прийняття рішень, математичне і геоінформаційне моделювання, теорія реляційних баз даних, принципи об'єктно-орієнтованого програмування.

1.1 Аналіз вихідних даних та постановка проблеми

Проблема планування розташування полігона ТПВ може бути класифікована як окремий випадок більш загальної проблеми розташування об'єктів, яка зазвичай включає в себе набір місць розташування (альтернатив), які оцінюються за набором зважених критеріїв незалежних один від одного. Відмінною рисою в плануванні розташування полігону є врахування інтересів інших зацікавлених сторін, таких як муніципальні адміністратори, фахівці у сфері поводження з відходами і т.д. Необхідно не тільки мінімізувати витрати на будівництво, але також створити найменший негативний вплив на людей і навколишнє середовище.

Твердими побутовими відходами (ТПВ) є всі відходи, що утворюються внаслідок людських та тваринних видів діяльності. Поняття «тверді побутові відходи» також є терміном для опису неліквідних відходів, утворених населенням. Тверді відходи – це один з суттєвих викликів, з якими стикаються країни, що розвиваються. Збільшення кількості відходів та неналежне поводження можуть становити ризики для здоров'я, вплив на навколишнє середовище і навіть соціальний вплив.

1.1.1 Аналіз сучасного стану в сфері поводження з відходами в Україні

За статистичними даними на кожного українця сьогодні припадає понад 700 тонн сміття, а накопичення відходів щорічно зростає на 5%. Це самий високий показник серед європейських країн. Під полігони для сміття передано 160 тис. гектарів землі, які зберігають близько 35 млрд. тонн відходів України. Не дивлячись на значні числа, навіть цих площ для зберігання сміття недостатньо і щороку виникає близько 12 тис. незаконних звалищ.

Відсутність реструктуризації і загальноприйнятої системи по утилізації сміттєвих відходів призводять до того, що українці повільно, але впевнено засипають сміттям самі себе (рис. 1).

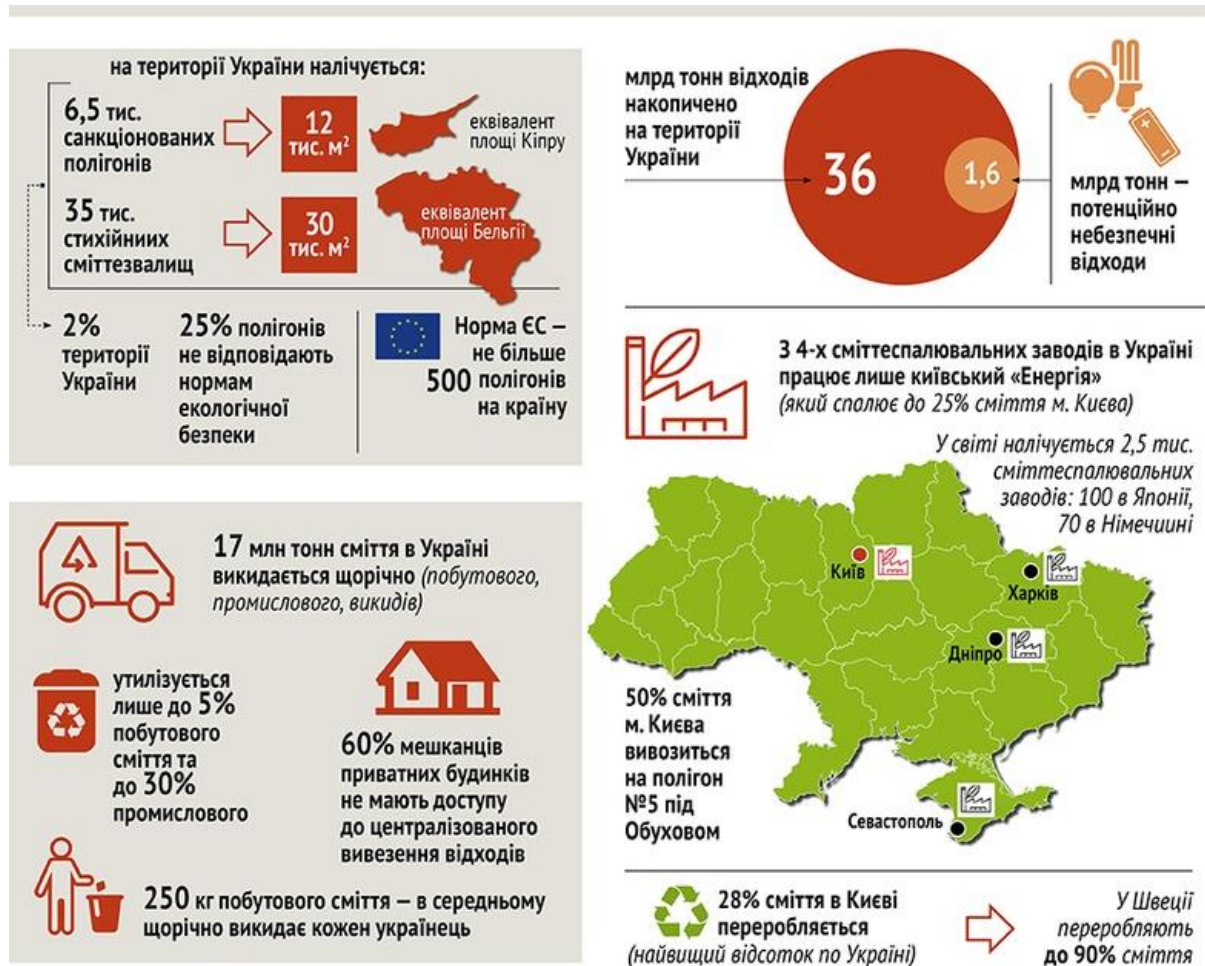


Рисунок 1 – Статистичні дані в сфері управління відходами в Україні

На сьогоднішній день жодне з офіційних звалищ фактично не відповідає екологічним стандартам. На звалищах немає в повному обсязі, потрібного обладнання, не проводиться сортування. Більшість з існуючих полігонів уже повністю вичерпали свої ресурси.

До всіх проблем українських звалищ додається і відсутність сортування – на полігон, крім ТПВ потрапляють токсичні продукти хімічної і нафтопереробних галузей. Вони є джерелом звалищного газу, який викликає загоряння і вибухи. Крім цього, газ стимулює парниковий ефект і викликають

забруднення ґрунтів. В цілому, звалища займають близько 7% території України або 42 тис. кв. км.

У 2016 році в Україні з'явилася електронна карта сміттєзвалищ (рис. 2), яку презентували у вигляді сервісу Ecomara.gov.ua, який включає інтерактивну карту смітників України та мобільний додаток з функцією онлайн оповіщення про виявлення звалища.

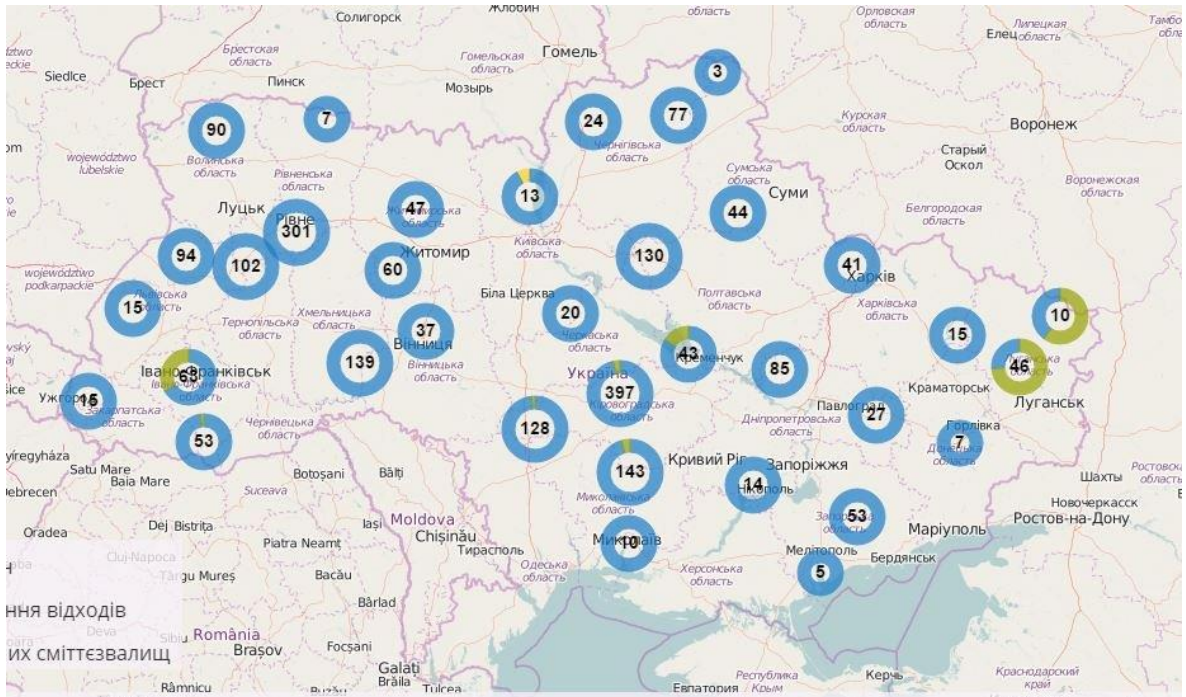


Рисунок 2 – Електронна карта сміттєзвалищ сервісу Ecomara.gov.ua

Метою створення електронного сервісу є проведення оперативної інвентаризації всіх наявних звалищ в Україні, як легальних, так і стихійних та нанесення інформації про них на інтерактивну карту з геолокаційною прив'язкою. Сервіс постійно оновлюється, крім місця звалища, додаються дані про його морфологію та про стан ліквідації. Кожен може зайти на сторінку сервісу, зареєструватися і залишити повідомлення про звалище. Ця інформація буде оброблятися і відправлятися в вигляді звернень громадян до відповідних органів.

Карта створювалася за даними, які надавала про свої звалища і полігони ТПВ кожна область. У підсумку вийшло, що на даний момент в країні є понад 30 тисяч таких об'єктів. За інформацією Мінприроди дані відображають реальну картину всього на 20%: космічні знімки місць сміттєзвалищ, які використовувались для порівняльної інформації, наданої областями, показали, що облдержадміністрації не володіють повною картиною сміттєзвалищ. Жодна область не надала повну картину їх геолокації. Органи місцевого самоврядування, незважаючи на те, що це їх зона відповідальності, не зацікавлені у відображенні об'єктивної картини стану звалищ і не готові визнати масштаби проблеми.

Електронний сервіс, також включає мобільний додаток на базі декількох програмних систем, які дозволяють кожному громадянину сфотографувати будь яке несанкціоноване звалище і надіслати фото на веб-портал Мінприроди. Отримана інформація оперативно обробляється і наноситься на карту. У разі виявлення стихійних звалищ Мінприроди направляє отриману інформацію в органи місцевої влади з вимогою їх ліквідування. Кожен громадянин може побачити процес усунення порушень в оновлених статусах, передбачених додатками. На карті повинна з'являтися інформація про те, що робиться для ліквідації того чи іншого місця скупчення сміття.

На даний час в Україні в основному використовували захоронення відходів, в країні немає економічних стимулів для переробки вторсировини і механізмів притягнення до відповідальності за шкоду навколишньому середовищу. Якщо говорити про побутові відходи, то зараз тільки 3% з них переробляються і повторно використовуються, але визначена мета, щоб до 2030 року 70% таких відходів в Україні перероблялися або повторно використовувалися. Надалі це допоможе зменшити обсяги муніципальних відходів, налагодити систему збору, переробки відходів та інше.

Переповнені сміттєві звалища – сьогодні велика проблема для України. У разі недбалого ставлення і неправильного поводження з відходами на полігонах, використання неефективних технологій зберігання сміття, ці

території стають не просто непридатними для будь якої життєдіяльності, а й можуть нести велику загрозу населенню, провокувати екологічну катастрофу – зараження ґрунту і повітря від небезпечних речовин і газу, які виділяються в результаті гниття сміття. Тому до цього питання треба підійти дуже серйозно і Мінприрода вже має ряд пропозицій, які планується внести в нові ДБН, щоб полігони проектувалися безпечними і з урахуванням сучасних можливостей і рішень.

1.1.2 Постановка проблеми

В даний час проблема розміщення полігонів ТПВ є вельми важливою, про що свідчить велика кількість наукових публікацій. Складність завдання обумовлена в першу чергу її міждисциплінарністю, тобто значною кількістю соціальних, економічних і технічних даних і відомостей про навколишнє середовище, які необхідно враховувати. Тому в більшості джерел використовуються методи багатокритеріального аналізу рішень (БКАР), які дозволяють виробити компромісне і об'єктивне рішення з урахуванням безлічі часто суперечливих факторів і інтересів між різними сторонами.

В даний час в різних наукових дослідженнях для вибору ділянок розміщення геопросторових об'єктів найчастіше використовують метод аналізу ієрархій [3,4]. Для визначення місця розміщення полігону ТПВ також враховують діючі законодавчі та нормативно-методичних навчальні матеріали у галузі охорони довкілля [5].

Процедура вибору місця розміщення полігону ТПВ повинна максимально використовувати вихідну інформацію, враховувати багато важливих критеріїв, таких як віддаленість від житлових районів та від головних доріг, інвестиційні витрати, обсяги утворення відходів та геоморфометричні параметри території. Цей процес повинен поєднувати екологічні, економічні та соціальні фактори. Економічні фактори розміщення сміттєзвалища включають витрати на розробку проекту, витрати, пов'язані з

експлуатацією полігону та транспортуванням сміття.

Для вирішення проблеми, що розглядається найкращим підходом є застосування геоінформаційних систем та технологій, що є ідеальним інструментом для просторових досліджень, завдяки здатності зберігати та обробляти великий обсяг різномірної геопросторової інформації.

За останні кілька десятиліть було досягнуто значного прогресу в розробці методів багатокритеріальної оцінки придатності земель, заснованих на інтеграції ГІС технологій і методів багатокритеріального аналізу рішень [6].

Поєднання БКАР і ГІС забезпечує більшу гнучкість і точність при прийнятті рішень, тому є фундаментальним інструментом вирішення проблем у багатьох областях [7]. Аналіз останніх досліджень і публікацій демонструє ефективність і успішність застосування інтеграції цих технологій в галузі управління відходами [8–10].

Для побудови надійної моделі БКАР потрібно визначити фактори, що впливають на рішення. В сучасних дослідженнях використовуються різні класичні методи і моделі БКАР для пошуку придатної ділянки для будівництва полігону ТПВ. Серед найбільш популярних:

- зважена лінійна комбінація (Weighted Linear Combination, WLC) [11–14];
- впорядковане зважене усереднення (Ordered Weighted Averaging, OWA) [15, 16];
- метод аналізу ієрархій (Analytic Hierarchy Process, АНР) [17–19];
- TOPSIS [20];
- методи з класу ORT (теорія відношення переваги, Outranking Relation Theory, або outranking methods) – сімейство методів ELECTRE, PROMETHEE [21].

Багато авторів відмічають складність, невизначеність та суб'єктивність процесу прийняття рішення. Необхідність враховувати наявну або отриману експертами інформацію про об'єктивний та суб'єктивний характер проблеми.

Так вихідна інформація, найчастіше представляється великою кількістю різнорідних факторів, що не подаються формалізованому опису.

Суб'єктивна інформація включає в себе експертні судження та переваги зацікавлених осіб і сторін, включаючи експертні оцінки важливості критеріїв. У зв'язку з цим, привабливим виглядає застосування апарату нечіткої логіки, що дозволяє врахувати невизначеність вихідної інформації та суб'єктивність в оцінках експертів.

Таким чином, аналіз сучасних підходів до вирішення завдання пошуку придатного місця розташування об'єктів ТПВ, демонструє широкі можливості в цьому напрямку поєднання ГІС-технологій і методів БКАР.

В методах БКАР повинні бути враховані типи невизначеності, які найчастіше є присутніми в ситуації прийняття рішення: невизначеність ступенів відносної важливості (ваг) критеріїв та невизначеність допустимої для ОПР форми компромісу між оцінками альтернатив за різними критеріями. Тому актуальним є створення або модифікація методів БКАР за допомогою теорії нечітких множин, які дозволяють враховувати невизначеності, пов'язані з процесом прийняття рішень, і можуть бути інтегровані в середовище ГІС.

Так в роботі [22] був застосований нечіткий підхід, при якому ваги критеріїв були описані лінгвістичними змінними, вираженими в трикутних нечітких числах. Автори сконцентрували свою увагу на етапі ранжування декількох ділянок, які були визначені у результаті операції булевого накладання шарів критеріїв.

Результати роботи [23] показали, що комбінація методів зваженої суми і МАІ має кращі можливості прийняття рішень в порівнянні з булевою логікою. А в роботі [24] апарат нечіткої логіки був використаний на етапі стандартизації критеріїв. В результаті нечіткого накладання отримана растрова карта придатності зі значенням комірок в діапазоні $[0,1]$. Для стандартизації критеріїв були використані лінійні та сигмоїдальні функції приналежності до нечіткої множини.

Аналіз вищезазначених публікацій показує, що дослідження авторів

спрямовані на врахування невизначеності та суб'єктивності процесу прийняття рішень, що виникає на етапах стандартизації шарів критеріїв і при оцінюванні важливості критеріїв експертами. Як правило, дослідження фокусуються на одному з етапів.

Недостатньо публікацій, де було б наведено порівняльний аналіз результатів моделювання з використанням різних операцій булевого, нечіткого та зваженого накладання з метою ідентифікації найкращого рішення. Тому вибір моделі придатності для пошуку оптимального місця розташування полігону ТПВ, що володіє кращою точністю та враховує нечітку відповідність критеріям в процесі моделювання, обумовлює необхідність проведення подальших досліджень в цьому напрямку.

1.1.3 Дослідження методів багатокритеріального аналізу рішень

Найбільш затребуваними є наступні категорії проблем, що вирішуються з використанням методів БКАР [25]:

- відбір альтернатив (screening) – процес відсіювання (відбракування) альтернатив з множини можливих/заданих, тобто формування звуженої/меншої множини альтернатив, яка містить допустимі або кращі альтернативи;
- пошук найбільш кращої альтернативи з множини розглянутих (choice problem);
- ранжування (ranking) альтернатив (від найкращої до найменш кращої з урахуванням всіх оцінок і переваг);
- класифікація/сортування альтернатив за класами/категоріями (sorting methods); наприклад, неприйнятні, можливо прийнятні, безумовно прийнятні альтернативи і т.п.

Існує велика кількість методів БКАР, але теоретичні та прикладні дослідження в географічному контексті сфокусовані на відносно невеликій кількості методів, включаючи метод зваженої суми (Weighted Sum Method), методи ідеальної точки, метод аналізу ієрархій та методи OUTRANKING. Далі

розглянемо ці методи та особливості їх застосування у просторових моделях.

Метод зваженої суми (Weighted Sum) є найбільш популярним методом БКАР завдяки його простоті. Метод був розроблений Л. Заде у 1963 р. [26] і є одним з перших, що був реалізований в географічному контексті під назвою метод зваженої лінійної комбінації (Weighted Linear Combination, WLC) [27]. Підставою для цього є її простота та відносно низька обчислювальна складність.

Метод WLC визначає процедуру комбінування шарів карти, шляхом зв'язування з i -ою альтернативою рішення набору ваг критеріїв, w_1, w_2, \dots, w_n , і об'єднання ваги з атрибутами критеріїв $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$, ($i = 1, 2, \dots, m$):

$$P(A_i) = \sum_{j=1}^n v(a_{ij})w_j, \quad (1.1)$$

де $P(A_i)$ – загальна пріоритетна оцінка i -ої альтернативи (один індекс i використовується для спрощення); $v(a_{ij})$ – цінність i -ої альтернативи за j -им критерієм; w_j – вага критерію j ; n – кількість критеріїв.

Завдяки простоті і зрозумілій методології, метод WS був реалізований у багатьох програмних засобах і може бути легко реалізований в середовищі ГІС з використанням операцій алгебри карт. Однак, при застосуванні метода зваженої суми треба пам'ятати, що він має деякі недоліки [27,28], тому перед його використанням потрібно зробити кілька припущень:

- перед використанням методу WS необхідне попереднє застосування процедур нормалізації значень критеріїв;

- наявність компенсації між критеріями: низьке значення за одним критерієм (наприклад, поганий вплив на навколишнє середовище) може бути компенсовано високим значенням за іншим (наприклад, високий дохід).

- адитивність атрибутів: зважене підсумовування може застосовуватися тільки в тому випадку, якщо атрибути є адитивними. Це припущення означає,

що атрибути повинні бути незалежними один від одного, що в багатьох випадках є нереалістичним припущенням.

Застосування моделі зваженої суми також призводить до деяких розбіжностей, які потрібно вирішити.

- втрата інформації внаслідок нормалізації;
- призначення ваги – складне завдання, особливо якщо кількість критеріїв велике і критерії дуже різні за своїм характером. Для підтримки осіб, які приймають рішення, були розроблені різні методи оцінки відносної важливості критеріїв.

Метод аналізу ієрархій (МАІ), розроблений Т. Сааті [29], є одним з найпопулярніших методів прийняття рішень, заснований на трьох принципах: декомпозиція, попарні судження і синтез пріоритетів. Принцип декомпозиції вимагає, щоб рішення проблеми було розкладено в ієрархію, яка охоплює основні елементи проблеми. Принцип порівняльного судження вимагає оцінки парних порівнянь елементів в рамках даного рівня ієрархічної структури по відношенню до їх батьків на вищому рівні. Принцип синтезу приймає кожен із похідних пріоритетів шкали співвідношення на різних рівнях ієрархії та будує складений набір пріоритетів для елементів на найнижчому рівні ієрархії (тобто альтернатив). Таким чином, МАІ складається з трьох основних етапів: розробки ієрархії, привласнення вагових коефіцієнтів кожному елементу ієрархічної структури з використанням методу парного порівняння і побудови загального рейтингу пріоритетів [29,30]. Як правило, МАІ інтегрують в ГІС і використовують сумісно з оператором зважена сума.

Одним з найважливіших кроків методу МАІ є побудова матриці A , де кожен елемент A_{ij} ($i, j = 1, \dots, n$) представляє відносну важливість критерію i в порівнянні з критерієм j . Для того, щоб висловити цю відносну важливість, ОПР може скористатися вербальною шкалою, яка потім перетворюється в фундаментальну шкалу абсолютних чисел, що приймає цілі значення від 1 до 9 [31]. Крім того, елементи цієї матриці повинні дотримуватися наступної властивості узгодженості: $A_{ij} = 1/A_{ji}, \forall i, j$.

При використанні 9-бальної шкали, матриця A приймає свої значення в наступному діапазоні $\left\{\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{1}{9}, 1, 2, \dots, 9\right\}$.

В ідеальному випадку матриця є послідовною, тобто вона, природно, має таку властивість: $A_{ik} \times A_{kj}, \forall i, j, k$.

У цьому випадку матрицю попарних порівнянь A можна записати наступним чином:

$$A = \begin{bmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & \cdots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & \cdots & w_2 / w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & \cdots & w_n / w_n \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

де w_1, w_2, \dots, w_n є вагами критеріїв. Щоб знайти вектор $w(w_1, w_2, \dots, w_n)$, можна вирішити наступне рівняння:

$$A_w = nw, \quad (1.3)$$

де вектор w – власний вектор A .

При використанні парних порівнянь може виникати небажаний ефект транзитивної неузгодженості в оцінках переваг одних об'єктів над іншими. Для контролю узгодженості експертних оцінок Т. Сааті ввів дві пов'язані характеристики – індекс узгодженості (Consistency Index, C.I.) і відношення узгодженості (Consistency Ratio, C.R.) [30]:

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (1.4)$$

де λ_{max} – найбільше власне значення.

Т. Сааті також встановив набір контрольних значень $R.I.$, середніх відношень узгодженості, які залежать від кількості альтернатив [30]. Коли $C.I.$ менша або рівна 10% від $R.I.$, рівень узгодженості вважається прийнятним.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}, \quad (1.5)$$

де $R.I.$ – середнє відношення узгодженості, яке залежить від розміру вибірки (табл.1).

Розумний рівень узгодженості в парних порівняннях передбачається на рівні $C.R. < 0.10$, якщо $C.R. \geq 0.10$, це показує суперечливі судження.

Таблиця 1 – Значення випадкового індексу ($R.I.$) в залежності від рангу матриці

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R.I.$	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Процес побудови матриці оцінки альтернатив такий самий, як і розглянутий вище. Різниця полягає лише в тому, що замість порівняння критеріїв на підставі їх важливості, ОПР буде запропоновано порівняти альтернативи на основі їхніх уподобань.

Методи ідеальної точки. Один з методів, який досить широко використовується для багатокритеріального аналізу (ранжування) альтернатив є метод TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions), який заснований на концепції, що обрана альтернатива повинна мати найкоротшу геометричну відстань від позитивного ідеального рішення (PIS) і найдовшу геометричну відстань від негативного ідеального рішення (NIS). TOPSIS вперше був запропонований Хвангом і Юном [32]. Це метод компенсаторної агрегації, який порівнює набір альтернатив шляхом визначення ваг для кожного критерію і розрахунку геометричної відстані між

кожною альтернативою і ідеальною альтернативою. Компромiс при виборі оптимальної альтернативи заснований на тому, що обране рішення повинно бути одночасно максимально близьким до ідеального та найбільш віддалене від найгіршого рішення [33].

Класичний метод TOPSIS складається з 6 етапів:

1) Оцінки n альтернатив за m критеріями збираються в $n \times m$ матрицю рішень $X=(x_{ai})$, де x_{ai} – оцінка альтернативи a за критерієм i .

2) Матриця рішень нормалізується, це необхідно для порівняння критеріїв, наданих в різних одиницях. Отримаємо матрицю $R=(r_{ai})$, де:

$$r_{ai} = \frac{x_{ai}}{\sqrt{\sum_{a=1}^n x_{ai}^2}}, \quad (1.6)$$

де $a = 1, \dots, m$ і $i=1, \dots, n$.

3) Вагова нормалізація матриці рішень будується шляхом множення нормованої матриці рішень r_{ai} на ваги критеріїв w_i .

$$v_{ai} = w_i \cdot r_{ai} \quad (1.7)$$

1) Ідеальна та анти-ідеальна альтернатива будується шляхом збору найкращих та найгірших показників за кожним критерієм в матриці нормалізованих рішень.

Ідеальна альтернатива:

$$A^+ = v_1^+, \dots, v_m^+, \quad (1.8)$$

де $v_i^+ = \max_a (v_{ai})$, якщо i треба максимізувати, $\min_a (v_{ai})$, якщо i слід мінімізувати.

Анти-ідеальна альтернатива:

$$A^- = v_1^-, \dots, v_m^-, \quad (1.9)$$

де $v_i^- = \max_a(v_{ai})$, якщо i треба максимізувати, $\min_a(v_{ai})$, якщо i слід мінімізувати.

5) Обчислюється відстань до кожної альтернативи:

Ідеальна альтернатива:

$$d_a^+ = \sqrt{\sum_i (v_i^+ - v_{ai})^2}, \quad (1.10)$$

де $a = 1, \dots, m$.

Анти-ідеальна альтернатива:

$$d_a^- = \sqrt{\sum_i (v_i^- - v_{ai})^2}, \quad (1.11)$$

де $a = 1, \dots, m$.

6) Обчислюється коефіцієнт відносної близькості кожної альтернативи:

$$C_a = \frac{d_a^-}{d_a^+ + d_a^-}. \quad (1.12)$$

Коефіцієнт близькості знаходиться між 0 і 1, де 1 є кращою альтернативою. Якщо альтернатива ближче до ідеалу, ніж до анти-ідеалу, то C_a наближається до 1, якщо альтернатива ближче до анти-ідеалу, то C_a наближається до 0.

У 1998 році Оприковичем [34,35] був розроблений метод VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), що є аналог методу

TOPSIS. Відмінність між TOPSIS і VIKOR полягає у підходах до нормалізації значень критеріїв та обрахунках відстаней до ідеальних точок. TOPSIS для кожної альтернативи обраховує показник, що характеризує ступінь її віддаленості від найгіршої точки, а VIKOR – близькість до найкращої. Що стосується нормалізації, TOPSIS використовує векторне нормування, тоді як VIKOR – лінійне [35].

Методи класу OUTRANKING. Сімейство методів ELECTRE, PROMETHEE відносяться до методів класу ORT (теорія відношення переваги, Outranking Relation Theory, або outranking methods). Методи ґрунтуються на теорії французького професора Бернарда Роя, який є автором сімейства методів ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) [36], і їх прийнято відносити до європейської наукової школи. На сьогоднішній день існують сім модифікацій методу ELECTRE. На практиці найбільш часто застосовують метод ELECTRE III як найбільш досконалий.

Методи передбачають проведення попарного порівняння альтернатив на основі функції переваги, що дозволяє вирішити проблему компенсації, яка є в методі TOPSIS.

Метод PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHods for Enrichment Evaluation) [37] дозволяє оцінити і вибрати альтернативу, ґрунтуючись на критеріях, що відображають плюси і мінуси альтернатив, а також дозволяє ранжувати дані альтернативи за привабливістю для ОПР. Методи сімейства PROMETHEE були розроблені в різні роки Дж. П. Бренсом та Б. Марешалем [37,38].

PROMETHEE не вимагає строгих суджень про дійсну структуру переваг ОПР. При оцінці альтернатив ключове завдання полягає в отриманні інформації про те, чи є деяка альтернатива як мінімум настільки ж приваблива, як інша. На підставі так званих відносин переваги, які визначаються на першому кроці, здійснюється ранжування альтернатив.

Від ОПР потрібно задати ваги критеріїв і вибрати функцію переваг. PROMETHEE не надає способу визначення цих ваг, але припускає, що ОПР

здатний поставити ваги правильно, як мінімум коли кількість критеріїв не надто велика. Визначення вагових коефіцієнтів завжди суб'єктивно. Тому аналіз чутливості, що відображає те, наскільки обрані ваги впливають на результат, є важливою частиною процесу пошуку рішень.

В рамках методу PROMETHEE розроблені різні модифікації, серед яких:

- PROMETHEE I для часткової оцінки альтернатив;
- PROMETHEE II для повноцінного ранжування;
- GAIA для візуалізації рішень.

Розглянемо основні етапи:

1) Завдання функції переваг. Стартовою точкою є формування матриці оцінок, яка відображає привабливість альтернатив за кожним з критеріїв. На підставі інформації, що міститься в матриці оцінок, альтернативи порівнюються попарно щодо кожного з критеріїв. Ідея PROMETHEE полягає в тому, щоб уникнути використання оцінок $f_k(a)$ кожної альтернативи, а лише порівнювати їх попарно. Метод може бути застосований до будь-якого дискретного набору альтернатив $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ і починається шляхом обчислення різниць між кожною парою альтернатив і для кожного критерію:

$$\forall k \in \{1, 2, \dots, q\}, \quad \forall a_i, a_j \in A: \quad d_k(a_i, a_j) = f_k(a_i) - f_k(a_j) \quad (1.13)$$

Результати виражаються функціями переваги, які розраховуються для кожної пари варіантів і можуть варіюватися від 0 до 1. У той час як 0 показує відсутність відмінності між варіантами, 1 означає велику різницю.

$$P_k : \mathbb{R} \rightarrow [0, 1] : d_k(a_i, a_j) \mapsto P_k(d_k(a_i, a_j)) \quad (1.14)$$

де P_k – незростаюча функція, яка рівна нулю для від'ємних значень.

У прикладі на рис. 3 функція переваги потребує різних параметрів, таких як поріг індиферентності q_i та поріг переваги p_i .

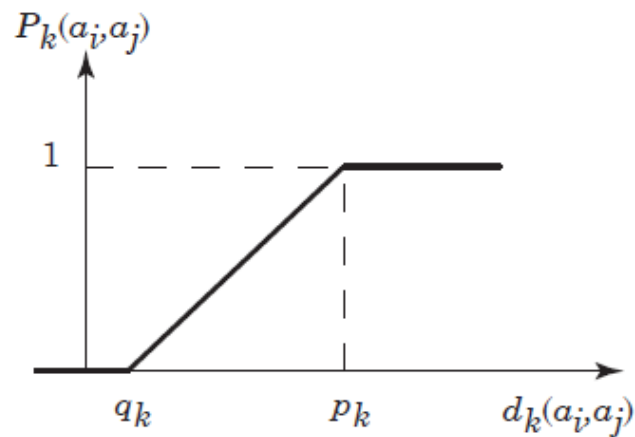


Рисунок 3 – V-подібна функція переваги

Якщо різниця $d_k(a_i, a_j)$ між оцінками альтернатив a_i та a_j за критерієм k вище, ніж p_i , альтернатива a_i є переважнішою за a_j . Якщо $d_k(a_i, a_j) < q_i$, то альтернативи a_i та a_j є індиферентними. Кілька типових форм функцій переваги запропоновано у [39], таких як лінійна, багаторівнева або гауссова функція переваги.

2) Оцінка ступеня переваги альтернатив. Матриця загальної цінності складається на основі значень, отриманих шляхом перемноження значень цінності альтернатив за кожним критерієм на вагу відповідного критерію. У цій матриці сума всіх значень в рядку відображає ступінь домінування (привабливості) альтернативи.

$$P(a_i, a_j) = \sum_{k=1}^q w_k \cdot P_k(d_k(a_i, a_j)) \quad (1.15)$$

Сума всіх значень в стовпці показує те, наскільки альтернатива пригнічується іншими.

Нарешті, метод агрегує ці ступеня переваг для обчислення кожної альтернативи оцінки за критерієм $\phi_k(a_i)$ (1.16) або глобальної оцінки $\phi(a_i)$ (1.17), що веде для повноцінного ранжування PROMETHEE II.

$$\phi_k(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{a_j \in A} [P_k(a_i, a_j) - P_k(a_j, a_i)] \quad (1.16)$$

$$\phi(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{a_j \in A} [P(a_i, a_j) - P(a_j, a_i)] = \sum_{k=1}^q \phi_k(a_i) \cdot w_k \quad (1.17)$$

Найвище значення $\phi(a_i)$ – це кращий рейтинг альтернативи.

Також можна визначити $\phi^+(a_i)$ та $\phi^-(a_i)$:

$$\phi^+(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{a_j \in A} [P(a_i, a_j)] \quad (1.18)$$

$$\phi^-(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{a_j \in A} [P(a_j, a_i)] \quad (1.19)$$

Потім використовуючи перетин рейтингу, отриманого цими двома способами, можна встановити частковий рейтинг PROMETHEE I.

Перевага методів ELECTRE та PROMETHEE складається в спробі усунути проблему компенсації, яка є в інших методах ранжування альтернатив. Однак, хоча парні порівняння вирішують цю проблему, але вони мають більш високу обчислювальну вартість. Це робить неможливим застосування методів для великої кількості альтернатив. У просторових завданнях це означає, що використовуючи методи переваг, можна вирішувати лише дискретні проблеми з обмеженою кількістю альтернатив. Постійні проблеми, подібні до тих, де треба оцінити кожний піксель на карті, повинні покладатися на інші методи. У цих випадках ще однією можливістю є використання наближених підходів, таких, як запропоновані у [40].

1.2 Матеріали та методи геопросторового БКАР по розміщенню полігонів ТПВ

1.2.1 Структура геопросторових даних про розміщення об'єктів ТПВ

Схема взаємодії об'єктів утворення, перероблення та розміщення відходів наведена на рис. 4. Безумовно в схемі повинні бути враховані об'єкти навколишнього середовища, на які робиться негативний вплив у процесі управління твердими побутовими відходами.

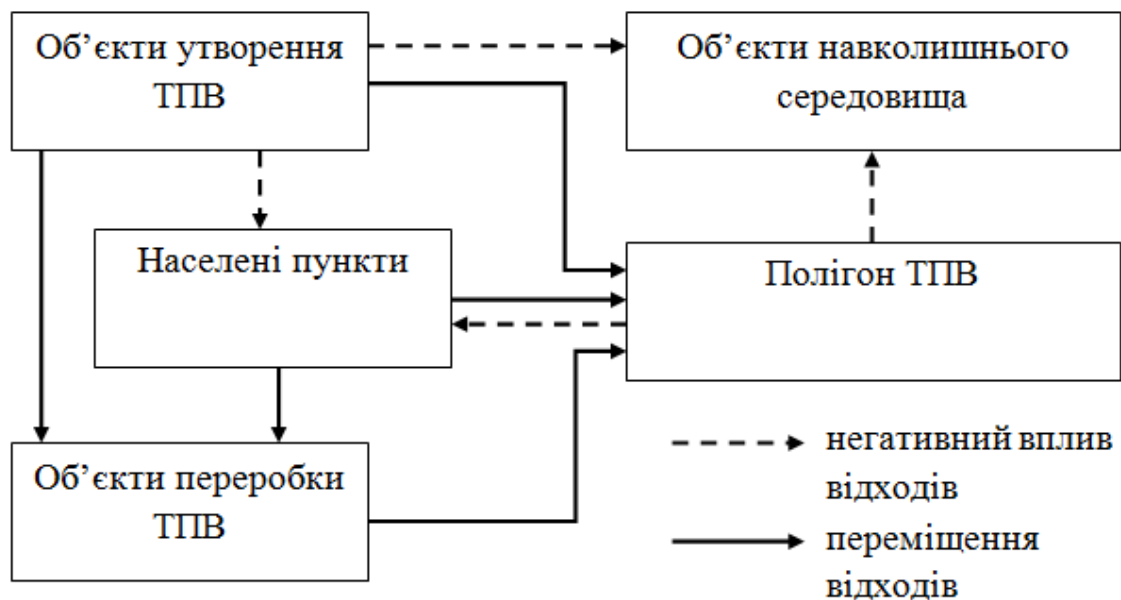


Рисунок 4 – Схема взаємодії об'єктів утворення, перероблення та розміщення ТПВ

Інформаційний масив, що описує процес управління твердими побутовими відходами, можна представити наступним чином:

$$I = \{O_y \cup O_n \cup O_p \cup O_n\}, \quad (2.1)$$

де O_y – інформація про об'єкти утворення відходів, O_n – інформація про об'єкти переробки відходів, O_p – інформація про об'єкти розміщення відходів, O_n – інформація про об'єкти навколишнього середовища (водні об'єкти, житлові зони, природні території, що охороняються та ін.).

Важливою складовою інформаційного масиву (2.1) є відомості про місцезнаходження об'єктів утворення, перероблення та розміщення ТПВ, тобто просторова інформація. Це обумовлює використання геоінформаційних технологій та подання цієї інформації в моделях даних, прийнятих в ГІС.

Опишемо декомпозицію множини об'єктів, які належать території, що досліджується, і впливають на прийняття рішення по розміщенню полігону ТПВ, в тематичні шари критеріїв з метою подальшого дослідження засобами ГІС [2,41,42].

Нехай задана деяка скінченна множина об'єктів, що впливає на рішення:

$$O = \{o_i\} = \left\{ \left(G, \{A_j\} \right)_i \right\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \quad (2.2)$$

де G – інформація щодо просторового положення об'єкту; A – атрибутивна інформація про об'єкт; n – загальне число об'єктів, що належать досліджуваній території і впливають на прийняття рішення; m – кількість атрибутів об'єкта.

Необхідно з множини об'єктів O виділити набір підмножин O_j , які впливають на рішення за будь-яким фактором (доступність транспортної інфраструктури, тип ґрунту, екологічна безпека та ін.) і об'єднати їх в окремі векторні шари критеріїв.

$$O = \bigcup_{j=1}^T O_j, \quad (2.3)$$

де T – множина властивостей території, яку треба врахувати у багатокритеріальному аналізі рішень.

Методика декомпозиції об'єктів передбачає виконання аналізу їх просторової і атрибутивної інформації. Декомпозиція, як правило, виконується відповідно до наступних ознак:

- множина геометричних властивостей: $G = \{g_p, g_l, g_{pol}\}$, де g_p – точкові об'єкти; g_l – лінійні об'єкти; g_{pol} – полігональні об'єкти (наприклад, для водних об'єктів, що можуть бути представлені лінійними і полігональними об'єктами: річки і водосховища відповідно, необхідно виконати декомпозицію на два окремих шари);

- множина атрибутивних властивостей $A = \{Q, N\}$, де Q – множина якісних властивостей, яка визначає приналежність об'єкту до певної тематичної групи (транспортна інфраструктура, водні об'єкти, населенні пункти та ін.); N – множина кількісних характеристик властивостей об'єкту (наприклад, для об'єктів, що відносяться до тематичної групи «Населені пункти» можна виконати декомпозицію за чисельністю населення).

Таким чином, приналежність об'єктів до певного шару критеріїв можна визначити кортежем властивостей $S = \langle G, A \rangle$. Будемо розглядати стаціонарні об'єкти з постійними властивостями.

Після проведення декомпозиції об'єктів отримуємо карту M , що представляє собою набір тематичних шарів L_i :

$$M = \{L_i\}, i = \overline{1, t}, \quad (2.4)$$

$$L_i = \{O_j^i\}, j = \overline{1, n}, \quad (2.5)$$

де i – номер шару карти M , j – номер об'єкта в i -ому шарі.

Схематично процес декомпозиції множини об'єктів O на тематичні шари наведений на рис. 5.

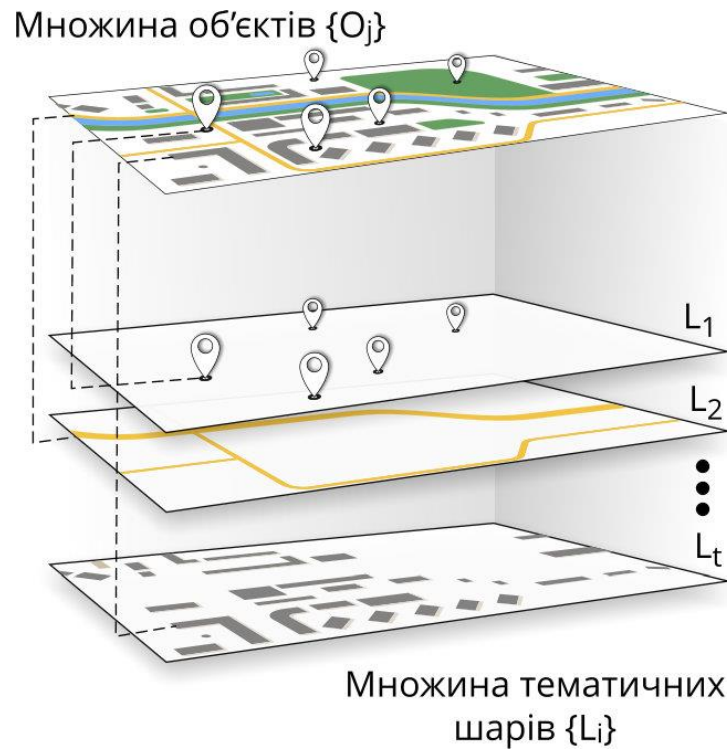


Рисунок 5 – Схема декомпозиції об'єктів у тематичні шари

Точкові об'єкти на карті представлені парою координат (x,y) і можуть описувати об'єкти інфраструктури, міста утворення відходів, несанкціоновані звалища, місця переробки відходів, тощо:

$$L_p = \{O_i^p\} = \left\{ \left(ID, (x, y), \{A_j\}_i \right) \right\}, i = \overline{1, n}, \quad (2.6)$$

де n – кількість об'єктів точкового шару, ID – ідентифікатор об'єкту, $\{A_j\} = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – множина атрибутів об'єкту точкового шару.

Отримані просторові та атрибутивні дані про об'єкти, що впливають на прийняття рішень про розміщення полігону ТПВ, необхідно привести до єдиного узгодженого вигляду, зручного для проведення процедури БКАР в середовищі ГІС. Для цього пропонується нечітка модель обробки просторової інформації про розміщення полігону ТПВ, формалізація якої здійснюється в наступних розділах роботи.

1.2.2 Нечітка модель обробки геопросторової інформації про розміщення об'єктів ТПВ

1.2.2.1 Формалізація опису просторових відношень між об'єктами

Всі об'єкти, що належать території, і впливають на прийняття рішень про розміщення полігону ТПВ, мають різний ступінь цього впливу в кожній точці території, який у загальному випадку залежить від:

- властивостей території (наприклад рельєфу чи ухилу) та інших зовнішніх умов (наприклад, напрямку вітру);
- діапазону впливу, тобто граничної відстані, на якій ще проявляється дія i -го об'єкта, або відстань, за межами якої впливом об'єкта можна знехтувати;
- відстань між i -им об'єктом та j -ою точкою території.

Тому можна стверджувати, що придатність j -ої точки території визначається сумарним впливом об'єктів, який в свою чергу залежить від взаємного розташування об'єктів, що виражається через відстань.

Для проведення геопросторового моделювання з метою пошуку придатного місця розміщення полігону ТПВ, зручно використовувати растрову модель даних. ГІС-аналіз передбачає здійснення певного набору просторових операцій з шарами карти, що були отримані після декомпозиції об'єктів. При роботі з векторними наборами даних вони виконуються ступінчастим чином – два вхідних шари використовуються для формування нового шару, цей проміжний шар оброблюється спільно з третім шаром, щоб формувати інший проміжний шар, і так далі до досягнення бажаного результуючого шару карти. При роботі з растровими наборами даних є можливість одночасної обробки декількох шарів, алгоритм якої реалізується в растровому калькуляторі [43]. Це особливо зручно при виконанні операції накладання (overlay). У растровій структурі значення атрибутів зберігаються для кожної комірки растру.

Таким чином, всі тематичні шари об'єктів представимо у вигляді набору комірок (пікселів) в растровій моделі ГІС, яка має вигляд двовимірної дискретної прямокутної сітки $n \times m$ комірок, де $\Delta x = \Delta y = \Delta r$ – розмір комірки (рис. 6):

$$A = \{a_i \mid a_i = n\Delta r, m\Delta r\} \quad (2.7)$$

Будемо використовувати один індекс для зазначення місця розташування комірки растру (комірка, позначена $i=1$, знаходиться в верхньому лівому куті карти сітки-комірки та комірки пронумеровані зліва направо, справа для кожного рядка, комірка $n \cdot m$ розташована в нижньому правому куті растрової карти). Для скорочення (2.7) можна записати у вигляді:

$$A = \{a_i \mid i = \overline{1, n \cdot m}\} \quad (2.8)$$

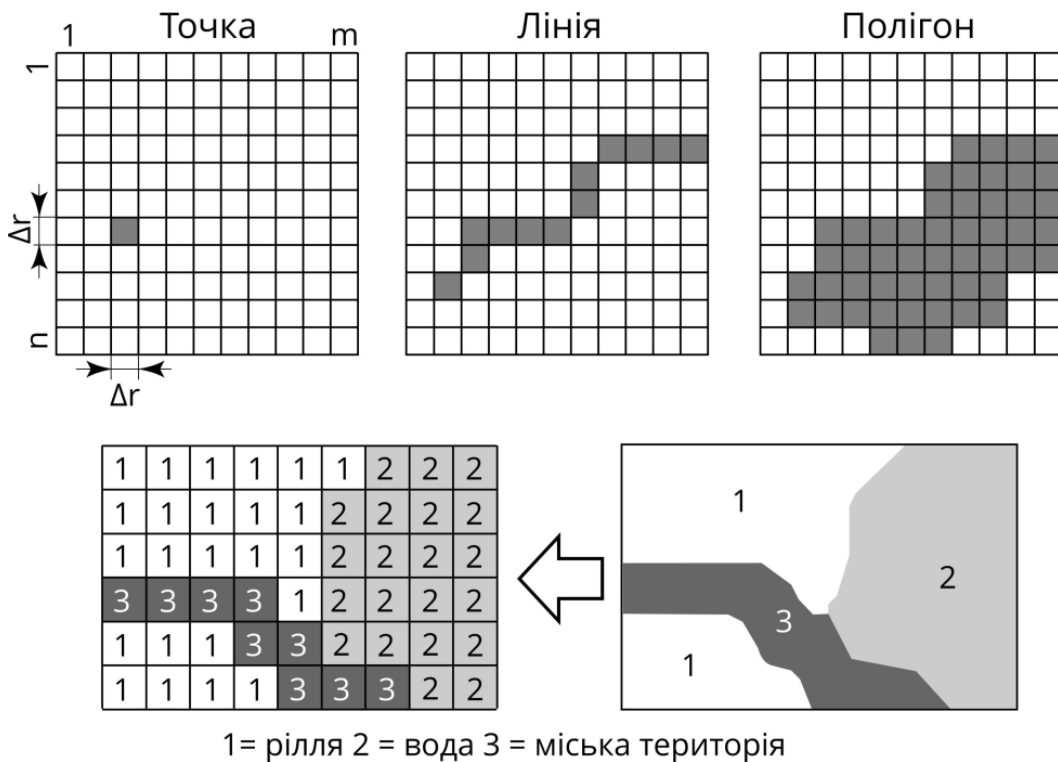


Рисунок 6 – Растрове подання просторових об'єктів в ГІС

Важливо обрати таку процедуру дискретизації векторних шарів в растр, яка дозволить отримати набір комірок, атрибути яких несуть в собі змістовну інформацію про значення впливу об'єктів шару. Так, наприклад, атрибути можуть бути отримані з векторних карт, що містять точкові об'єкти пунктів спостереження за значенням деякого фактору з використанням різних методів інтерполяції. Для вивчення співвідношення між об'єктами і їх взаємодії використовують різні метрики близькості [44]: манхеттенську, евклідову, Чебишева та ін.

Найбільш часто для розрахунку географічних відстаней між об'єктами в просторовому аналізі використовують Евклідову відстань, яка між двома точковими об'єктами $O_1(x_1, y_1)$ і $O_2(x_2, y_2)$ визначається як :

$$d(O_1, O_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}. \quad (2.9)$$

При перетворенні векторного шару в растровий шар, векторний об'єкт O_j представляється набором комірок (рис. 7), кожна з яких має просторові координати і атрибут:

$$O_j = \{(a)_i\} = \{((x^i, y^i), v^i)_i\}, i = \overline{1, k}, \quad (2.10)$$

де v – атрибут, k – кількість комірок, що покривають об'єкт O_j .

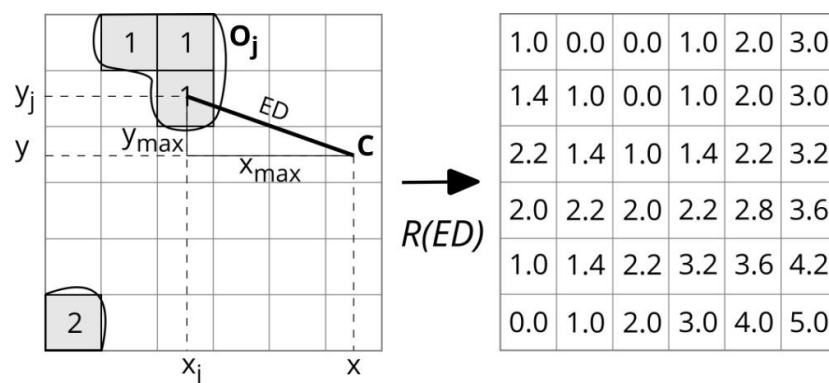


Рисунок 7 – Схема процесу побудови растру Евклідових відстаней

У випадку растрової моделі даних відстань від будь-якої комірки растру a до об'єкту O_j дорівнює мінімальній відстані від цієї комірки до кожної комірки, що покриває об'єкт, який досліджується:

$$ED(O_j, a) = \min_i \left\{ \left(d(O_j, a) \right)_i \right\}, i = \overline{1, k}. \quad (2.11)$$

Таким чином, можна побудувати растр відстаней $R(ED)$ для j -го шару карти, кожна комірка якого містить атрибут, який дорівнює значенню Евклідової відстані ED від неї до найближчого об'єкту, розрахований відповідно (2.11):

$$R_j(ED) = \left\{ \left((x^j, y^j), ED^j \right) \right\}, i = \overline{1, n \cdot m}, j = \overline{1, t}, \quad (2.12)$$

де n – кількість рядків двовимірної сітки растру, m – кількість стовбців двовимірної сітки растру.

Після виконання процедури дискретизації, оскільки атрибути служать змінними рішення, то можна представити значення атрибуту як a_{ij} , тобто значення атрибуту за j -им критерієм і за i -ою альтернативою:

$$A = \left\{ a_{ij} \mid i = \overline{1, n \cdot m}, j = \overline{1, t} \right\}. \quad (2.13)$$

На множину альтернатив A можуть бути накладені обмеження: на значення атрибутів (непросторові обмеження) або на розташування (просторові обмеження). Цей крок може бути виконано, якщо з множини альтернатив (точок території, що досліджується) необхідно вилучити окремі альтернативи за певними признаками. Наприклад, для пошуку місць розміщення полігонів ТПВ це може бути певні санітарні зони від території заповідників, сільськогосподарських угідь, аеропортів та ін. Як правило,

обмеження представляються набором растрових шарів, які перекласифікуюють так, що атрибути комірок з неприпустимими альтернативами мають значення 0, а з припустимими альтернативами – значення 1:

$$a_i = \begin{cases} 1, & \text{if } a_i \in P \\ 0, & \text{if } a_i \notin P, i = \overline{1, n \cdot m}, \end{cases} \quad (2.14)$$

де P – множина припустимих значень альтернатив.

Загальний обмежуючий шар K_c може бути побудований з використанням операції кон'юнкції [2,42]:

$$K_c = \prod_{r=1}^R K_r, \quad R \subset T, \quad (2.15)$$

де K_r – растровий обмежуючий шар; R – множина тематичних растрових шарів, з яких будується загальний обмежуючий шар; T – загальна множина тематичних растрових шарів.

Для визначення множини можливих альтернатив A' з множини альтернатив A треба вилучити множину неприпустимих за обмеженнями комірок, використовуючи шар K_c в якості кон'юнктивного фільтру.

1.2.2.2 Обробка геопросторової інформації про об'єкти ТПВ за допомогою апарату нечітких множин

Отримані в результаті проведення процедури дискретизації растрові шари об'єктів, як правило, мають різні діапазони чи шкали значень атрибутів. Методи БКАР та ГІС-аналізу вимагають перетворення атрибутів в порівнянні одиниці. Процедури перетворення необроблених даних у порівнянні одиниці

називають методами масштабування значень або стандартизації. Процедура стандартизації дозволяє виконати масштабування, тобто перенести вихідні значення атрибутів з необробленої шкали в шкалу $[0,1]$.

Нечітка множина універсальної множини U визначається як множина впорядкованих пар:

$$\tilde{V} = \{ \langle \mu_v(a) | a \rangle \}, \quad (2.16)$$

де $\mu_v(a)$ функція належності, що приймає значення в деякій цілком впорядкованій множині $M=[0;1]$. Якщо $M=[0;1]$, то нечітка підмножина може розглядатися як чітка множина. Функція належності вказує ступінь належності елемента x нечіткій підмножині A . Чим більше $\mu_v(a)$, тим більшою мірою елемент універсальної множини відповідає властивостям нечіткої підмножини.

Таким чином, опис просторової інформації на основі апарату теорії нечітких множин базується на перетворенні значень атрибутів k -го шару у значення ступені належності до нечіткої множини \tilde{V}_k :

$$\tilde{V}_k = \{ (a, \mu_v^k(a)) / a \in U \}, \mu_v^k(a) : a \rightarrow [0,1], \quad (2.17)$$

де a – значення атрибуту, U – безперервна множина значень атрибутів.

Фазифікація шарів критеріїв, тобто перетворення їх значень у нечітку множину, на підставі експертної оцінки нечіткої функції належності, дозволяє побудувати растр придатності для k -го критерію, кожна комірка якого містить значення функції належності $\mu_v^k(a)$ для атрибуту комірки a :

$$R_k(\tilde{v}(a_i^k)) = \{ ((x_i^k, y_j^k), \mu_v^k(a_{ij}^k)) \}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, k = \overline{1, t}. \quad (2.18)$$

Як правило, функція належності будується за участю експерта (групи експертів), таким чином, що ступінь належності приблизно дорівнює інтенсивності прояву деякого фактору.

1.2.3 Нечітка модель БКАР по розміщенню об'єктів ТПВ

Модель БКАР може бути представлена в наступному формалізованому записі [45-47]:

$$\langle A, C, F, P; D \rangle, \quad (2.19)$$

де $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – кінцева множина альтернатив;

$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ – набір критеріїв, за якими оцінюються альтернативи;

F – процедура критеріального оцінювання;

P – система переваг ОПП, містить інформацію про оцінки альтернатив за кожним критерієм;

D – вирішальне правило, задає процедуру виконання потрібної дії над множиною альтернатив (відбір, ранжування, сортування альтернатив).

В географічному контексті модель БКАР включає набір географічно визначених альтернатив (наприклад, земельні ділянки) і набір критеріїв оцінки, представлених у вигляді шарів карти. Аналіз полягає в комбінуванні шарів критеріїв відповідно до атрибутів критеріїв та переваг ОПП, використовуючи правило прийняття рішення (правило комбінування).

Передбачається, що шари критеріїв представляються в растровій моделі даних (2.17), (2.19), яка має вигляд двовимірної дискретної прямокутної сітки $x \times y$. Кожна комірка растру є альтернативою, яка описується своїми просторовими даними (географічними координатами) та атрибутивними даними (значеннями критеріїв). Запишемо множину альтернатив A , що оцінюються за критеріями C_j :

$$A = \{a_{ij} \mid i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}\}, \quad (2.20)$$

де a_{ij} – значення атрибуту альтернативи, тобто значення атрибуту за j -им критерієм і за i -ою альтернативою; n – кількість критеріїв; $m = m_x \cdot m_y$ – кількість альтернатив (комірок растру).

Переваги ОПР щодо оцінки критеріїв визначаються через призначення ваг критеріїв w_j , де $j = 1, 2, \dots, n$. Будемо вважати, що переваги ОПР є просторово однорідними, тобто кожному критерію C_k призначена одна вага w_k . Таким чином, матриця прийняття рішень буде мати вигляд, наведений в табл. 2.

Таблиця 2 – Матриця прийняття рішень

Альтернативи	Просторові координати		Критерії/атрибути C_j			
	X_i	Y_i	C_1	C_2	...	C_n
A_1	x_1	y_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	x_2	y_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
A_3	x_3	y_3	a_{31}	a_{32}	...	a_{3n}
...
A_m	x_m	y_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}
Вага, w_j			w_1	w_2	...	w_n

Загальна модель ГІС-БКАР по розміщенню полігону ТПВ наведена на рис. 8 [2,41,42].

Вона складається з наступних етапів:

– 1) Етап попереднього дослідження чи збору інформації. На цьому етапі аналітик збирає дані про проблему для визначення способу використання та зберігання інформації в ГІС:

– структурування проблеми – цей крок визначає цілі, вибір конкретного рішення проблеми (відбір, ранжування, пошук кращих альтернатив, класифікація/сортування альтернатив за класами);

- збір даних – передбачає підготовку та збереження геоданих, що характеризують чи описують конкретну проблему і повинні бути враховані;
- визначення факторів, що впливають на рішення;

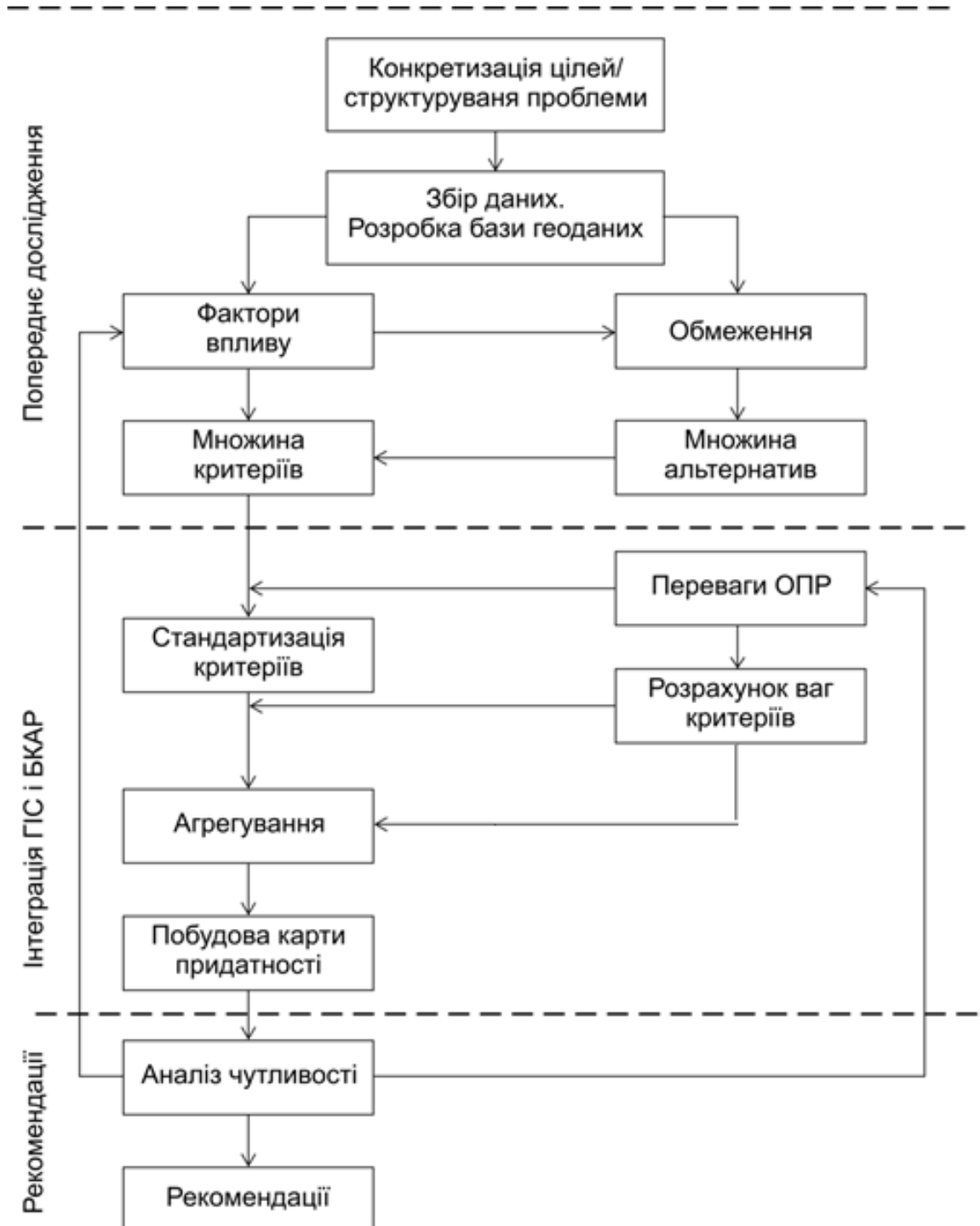


Рисунок 8 – Нечітка модель БКАР в ГІС

- обмеження – на просторово-орієнтовані об’єкти може бути накладені обмеження; об’єкти, що за цими обмеженнями є неприпустимими, вилучаються і не розглядаються в подальшому аналізі;

- критерії – оскільки деякі фактори впливу можуть бути просторовими, аналітик може використовувати ГІС для побудови відповідних шарів критеріїв за допомогою експертів;

- альтернативи – після врахування обмежень, якщо такі є, аналітик може створити перелік альтернатив або набір можливих рішень.

2) Етап інтеграції ГІС і БКАР. Після збору всіх необхідних даних, на другому етапі аналітик підключає до вирішення проблеми, методи БКАР:

- стандартизація критеріїв – перетворення атрибутів в порівнянні одиниці, тобто з необробленої шкали в шкалу $[0,1]$, може бути виконано за допомогою фазифікації атрибутів критеріїв;

- переваги ОПР – на цьому етапі ОПР, може вказати свої погляд на проблему та допомогти аналітику ввести параметри обраного методу БКАР;

- розрахунок ваг критеріїв – коли визначено критерії і альтернативи, аналітик може побудувати матрицю рішень за допомогою експертів, якщо це необхідно;

- агрегування – залежно від методу БКАР, що був використаний, іноді є потреба використати певні правила прийняття рішень, які в середовищі ГІС часто реалізуються різними операціями зваженого накладання шарів критеріїв (overlay).

3) Етап вирішення проблеми та надання рекомендацій ОПР. Після побудови моделі, вона може бути використана для вивчення набору прийнятних рішень:

- аналіз чутливості – цей крок дозволяє перевірити надійність отриманого рішення або налаштувати модель відповідно до побажань ОПР;

- рекомендації – по завершенню аналізу аналітик надає обґрунтовані рекомендації щодо вирішення проблеми та пояснює, як їх реалізувати ОПР.

Для вирішення завдання пошуку придатного місця розташування полігону ТПВ, на наш погляд, слід обирати простий метод побудови карти придатності, який може бути легко реалізований у більшості пакетах ГІС і який має невисоку обчислювальну вартість. Також, як було згадано раніше, обґрунтованим є застосування методів БКАР, заснованих на апараті теорії нечітких множин, які дозволяють враховувати невизначеність вихідної інформації, суб'єктивність в оцінках експертів та перевагах ОНР.

1.2.3.2 OWA оператор Ягера з лінгвістичними квантифікаторами

Одним з аспектів появи нечіткості інформації в БКАР є невизначеність переваг ОНР. Ця інформація стосується, по-перше, ступенів відносної важливості (ваг) критеріїв, по-друге, допустимої для ОНР форми компромісу між оцінками альтернатив за різними критеріями для можливості побудови узагальненого показника оцінки альтернатив.

В якості причин нечіткості ваг критеріїв можна відмітити їх вираз у словесній формі, а також складність або неможливість точно та однозначно оцінити значення відповідних параметрів.

Форма компромісу між оцінками визначає допустиму, з точки зору ОНР, ступінь компенсації більш низьких оцінок більш високим та найчастіше виражається словесно за допомогою суджень виду «альтернатива повинна мати високу оцінку за більшістю (за всіма, за кількома, не менш ніж за половиною) критеріїв». Ці судження також мають нечіткий характер.

Звернемося до формалізованого запису багатокритеріальної моделі прийняття рішень (2.20). Нехай оцінки альтернатив $a_i \in A$ за кожним критерієм $C_j \in C$ виражені в числовій формі, шляхом перетворення їх чітких значень у нечітку множину на підставі експертної оцінки нечіткої функції належності $\mu_{aj}(v)$ і приймають значення на відрізку $[0,1]$. Система переваг ОНР P може бути представлена у вигляді:

$$\langle C_j(a) \rightarrow \max, a \in A(j=1, \dots, n); W, Q \rangle, \quad (2.21)$$

де W – інформація про відносну важливість критеріїв, яка задається набором ваг $w_j \geq 0$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$; Q – інформація про допустиму форму компромісу між оцінками за різними критеріями. Для формалізації інформації Q можна скористатися поняттям нечіткого квантифікатора [48]. Приклади функцій належності різних нечітких квантифікаторів наведені на рис. 9 [49-51].

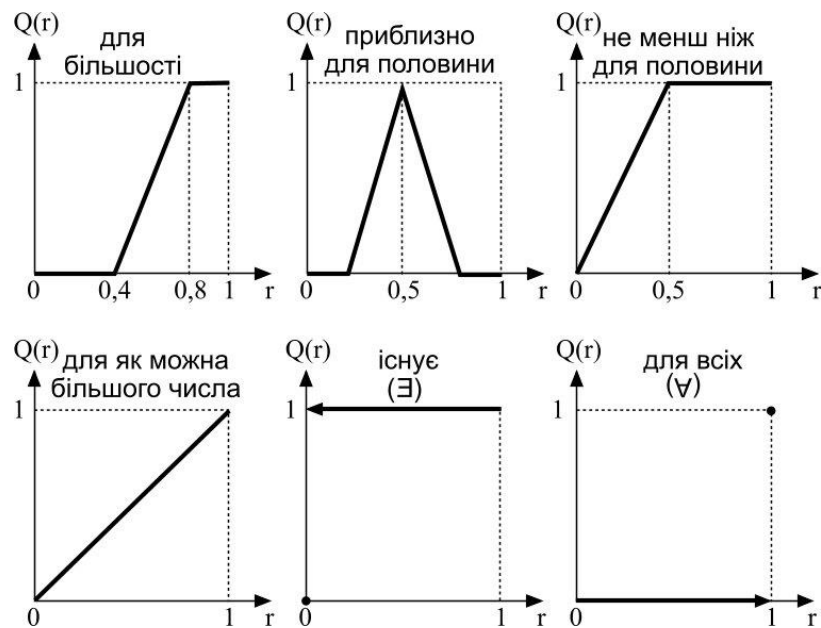


Рисунок 9 – Приклади функцій належності нечітких квантифікаторів

Застосуємо оператор впорядкованого зваженого усереднення, запропонований Р.Ягером (Ordered Weighted Averaging, OWA) [48] в якості правила прийняття рішення для моделі (2.20), (2.21).

OWA оператор Ягера дозволяє комбінувати шари карти, зв'язуючи з шарами карти два типи ваг: набір ваг критеріїв w_1, w_2, \dots, w_n , $0 \leq w_j \leq 1$, де

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1. \text{ та набір ваг порядку } \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \text{ де } \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1.$$

Формалізований запис OWA оператора Ягера в даному випадку має наступний вигляд:

$$V(a'_i) = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\lambda_j w_j^b}{\sum_{j=1}^n \lambda_j w_j^b} \right) b_{ij}, \quad (2.22)$$

де $V(a'_i)$ – загальна оцінка i -ої альтернативи; $b_{i1} \geq b_{i2} \geq \dots \geq b_{in}$ – елементи вектора $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ впорядковані за зменшенням; w_j^b – ваги критеріїв, впорядковані у відповідності зі значенням атрибуту b_{ij} .

Рівняння (2.22) має схожість з (2.13), але містить змінні ваги критеріїв, які формуються шляхом множення ваг критеріїв w_j на ваги порядку λ_j . Можна показати, що у випадку, коли $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n = 1/n$, (2.22) повністю ідентично (2.18). За рівнянням (2.22) можна отримати широкий спектр операторів агрегування шляхом вибору відповідного вектора ваг порядку λ_j .

Для агрегування критеріїв можуть бути використані некомпенсаційні методи, наприклад, нечіткі арифметичні операції перетину або об'єднання.

Нечіткий перетин (або AND) визначається:

$$\bigcap_{j=1}^n \mu_v^j(a_i) = \min[\mu_v^1(a_i), \mu_v^2(a_i), \dots, \mu_v^n(a_i)]. \quad (2.23)$$

Нечітке об'єднання (або OR) визначається:

$$\bigcup_{j=1}^n \mu_v^j(a_i) = \max[\mu_v^1(a_i), \mu_v^2(a_i), \dots, \mu_v^n(a_i)]. \quad (2.24)$$

Використання операції нечіткого перетину (2.20) призводить до оцінювання альтернативи на основі лише найнижчого значення критеріїв, операція нечіткого об'єднання (2.24) враховує тільки кращі оцінки критеріїв.

Таким чином, можна говорити про те, що OWA – є універсальним оператором агрегування, тому що має здатність реалізовувати широкий спектр комбінування шарів критеріїв: від логічного AND (у випадку, коли $\lambda_1=\lambda_2=\dots=\lambda_{n-1}=0, \lambda_n=1$), до OR (у випадку, коли $\lambda_1=1, \lambda_2=\dots=\lambda_n=0$). Оператори AND і OR є екстремальними випадками оператора OWA [50, 52].

Важливим питанням залишається розрахунок ваг порядку. Р.Ягером [48] для визначення ваг порядку був запропонований підхід, що базується на використанні лінгвістичних квантифікаторів.

Нехай є вектор $(\tilde{\lambda}_1, \tilde{\lambda}_2, \dots, \tilde{\lambda}_n)$, де $0 \leq \tilde{\lambda}_j \leq 1$ і $\sum_{j=1}^n \tilde{\lambda}_j = 1$. OWA оператор, що керується квантифікатором, для даного вектора задається у вигляді:

$$V(a'_i) = \sum_{j=1}^n \tilde{\lambda}_j b_{ij}. \quad (2.25)$$

де $V(a'_i)$ – загальна оцінка i -ої альтернативи; $b_{i1} \geq b_{i2} \geq \dots \geq b_{in}$ – елементи вектора $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ впорядковані за зменшенням. Важливим аспектом даного підходу є те, що вага порядку $\tilde{\lambda}_j$ пов'язана з позицією елементів в упорядкованому за зменшенням векторів таким чином, що $\tilde{\lambda}_1$ відповідає найбільшому значенню b_j , а $\tilde{\lambda}_n$ – найменшому.

У випадку, коли для критеріїв заданий набір ваг w_1, w_2, \dots, w_n , вектор ваг порядку $\tilde{\lambda}_j$ задається у вигляді:

$$\tilde{\lambda}_j = Q\left(\sum_{i=1}^j w_i^b\right) - Q\left(\sum_{i=1}^{j-1} w_i^b\right). \quad (2.26)$$

1.2.3.3 Нечітка модифікація методу аналізу ієрархій

Розглянемо методи розрахунку ваг критеріїв для задавання їх відносної важливості. У випадку n критеріїв, множина ваг визначається наступним чином:

$$W = \{w_i \mid \sum w = 1, i = \overline{1, n}\}. \quad (2.27)$$

Найпростішим способом оцінювання важливості критеріїв є ранжування (Ranking Method), тобто упорядкування критеріїв експертом у порядку важливості (самий важливий – 1, другий важливий – 2, і т.д.). Після того, як рейтинг встановлений, ваги критеріїв розраховуються відповідно до рівняння:

$$w_i = \frac{n - r_i + 1}{\sum_{i=1}^t (n - r_i + 1)}, \quad (2.28)$$

де w_i – нормована вага для i -го критерію, n – кількість критеріїв ($j = 1, 2, \dots, n$), а r_i – рангова позиція критерію.

Ваги критеріїв можуть бути знайдені безпосереднім оцінюванням експертами на основі заданої шкали, наприклад, від 0 до 100. В такому випадку нормована вага критерію розраховується наступним чином:

$$w_i = \frac{w'_i}{\sum w'}, \quad (2.29)$$

де w_i – нормована вага для i -го критерію, а w'_i – оцінка для i -го критерію.

Як вже згадувалося раніше, ваги критеріїв можуть бути розраховані методом аналізу ієрархії (МАІ), який часто інтегрують в ГІС для

багатокритеріального аналізу придатності території та пошуку місць розташування об'єктів. МАІ заснований на парному порівнянні критеріїв за допомогою 9-ти бальної фундаментальної шкала абсолютних чисел Сааті. За результатами парного порівняння n критеріїв можна побудувати матрицю $A(n \times n)$, у якій кожний елемент a_{ij} , $i, j=1, 2, \dots, n$ – це оцінка парного порівняння i -го критерію з j -м критерієм:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, a_{ij} = 1, a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}, a_{ij} \neq 0. \quad (2.30)$$

Оскільки традиційний МАІ не враховує невизначеність та суб'єктивність в судженнях експертів, то пропонуємо модифікований нечіткий МАІ, в якому парні порівняння критеріїв виконуються через лінгвістичні змінні представлені трикутними числами (табл. 3).

Таблиця 3 – Лінгвістичні змінні і відповідні нечіткі числа

Шкала Сааті	Визначення	Нечітка трикутна шкала
1	відсутня перевага	(1, 1, 1)
3	слабка перевага	(2, 3, 4)
5	суттєва перевага	(4, 5, 6)
7	явна перевага	(6, 7, 8)
9	абсолютна перевага	(9, 9, 9)
2	проміжні значення між сусідніми значеннями шкали	(1, 2, 3)
4		(3, 4, 5)
6		(5, 6, 7)
8		(7, 8, 9)

На першому етапі експерт трансформує чітку матрицю парних порівнянь A , після перевірки узгодженості оцінок, $C.R.<0.10$ (1.4) – (1.5) у нечітку матрицю \tilde{A} за допомогою шкали з трикутними нечіткими числами:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & \tilde{a}_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2.31)$$

де \tilde{a}_{ij} – результат порівняння i -го критерію з j -м критерієм, виражений через нечітку трикутну шкалу.

Нечіткі ваги кожного критерію можна знайти використовуючи векторне підсумовування, згідно рівняння:

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} = (lw_i, mw_i, uw_i), \quad (2.32)$$

де $\tilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}$, $i = 1, 2, \dots, n$ – середнє геометричне значень нечіткого порівняння кожного критерію.

Дефазифікація нечіткої ваги виконується із застосуванням рівняння:

$$M_i = \frac{lw_i + mw_i + uw_i}{3}, \quad (2.33)$$

де M_i – чітке число, яке треба нормалізувати:

$$w_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}. \quad (2.34)$$

1.3 реалізація системи БКАР по розміщенню об'єктів ТПВ (на прикладі півдня одеської області)

1.3.1 Територія дослідження

В Одеській області в основу стратегії управління потоками ТПВ покладено регіональний підхід, в рамках якого пропонується створення в області окремих кластерів (зон) комплексного поводження з відходами і будівництво полігону ТПВ у кожному.

Вирішення проблеми пошуку ділянки для розміщення полігону ТПВ виконується для окремого кластеру, розташованому на півдні Одеської області (рис. 10).

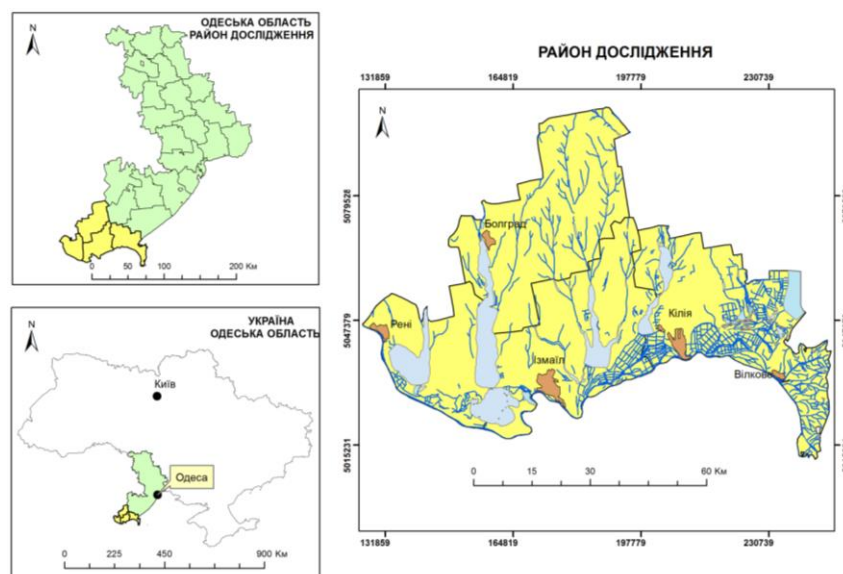


Рисунок 10 – Схема розташування області дослідження

На рис. 10 представлено розташування області дослідження на території Кілійського, Болградського, Ізмаїльського і Ренійського районів. Загальна площа території яка досліджується складає 4778 км².

Для дослідження необхідні карти, які були використані для вилучення наступних інформаційних шарів: використання землі, які складаються з житлових районів, поселень, дороги, водні об'єкти, підземні води, зелена зона,

сільськогосподарська і т.д. Інші дані, витягнуті з топографічних карт, дані напрямок і швидкість вітру і глибина залягання ґрунтових вод. Географічні дані і функція, необхідна для попередньою інформацією ділянки витягуються за допомогою ArcGIS програмного забезпечення для обробки.

1.3.2 Визначення критеріїв оцінки та побудова ієрархічної структури прийняття рішень

Вибір ділянки є дуже важливим процесом для успішної роботи. Це місце має задовольняти основні положення уряду, мінімізувати важливі фактори, як здоров'я, економічної, екологічної та соціальної вартості. Насправді, різні дослідники використовували різні критерії для цілей вибору майданчика в основному через те, що різні критерії відносяться до різних видів оцінки.

Проектування полігонів здійснюється відповідно до державних будівельних норм ДБН В.2.4-2 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування». Приймається, що один полігон з потужністю 100 тис. т/рік повинен мати загальну площу 30 га. Критерії в цілому повинні бути чітко визначені, щоб змалювати ясність структурної ієрархії. Багатокритеріальний аналіз рішень, використовуваний в цьому дослідженні, заснований на критеріях, отриманих з основних вимог, до будівництва полігонів ТПВ наведені у табл. 4.

Таблиця 4 – Вимоги до будівництва полігонів ТПВ згідно ДБН В.2.4-2

№	Фактори	Порогові значення
1	Відстань від аеропортів та аеродромів	15 км
2	Відстань від межі курортного міста, відкритих водоймищ господарського призначення, об'єктів які використовуються у культурно-оздоровчих цілях, заповідників, місць відпочинку перелітних птахів, морського узбережжя	3000 м
3	Відстань від межі міст	1000 м
4	Відстань від житлової та громадської забудови	500 м

№	Фактори	Порогові значення
	(санітарно-захисна зона)	
5	Відстань від сільськогосподарських угідь, автомобільних та залізничних шляхів загальної мережі	200 м
6	Відстань від межі лісу і лісопосадок, не призначених для використання в рекреаційних цілях	50 м
7	Глибина залягання ґрунтових вод	не менше 2м

Ієрархічна структура прийняття рішень представлена на рис. 11.

На підставі технічних вимог до розміщення полігонів ТПВ, були сформульовані критерії, які розділені на три основні групи: екологічні, фізичні та соціально-економічні. Підкритерії доступні у вигляді атрибутів шарів в базі даних ГІС.

Для створення карт критеріїв були використані різні джерела даних як в растровому так і у векторному форматах.

Цифрова модель рельєфу (ЦМР), а також похідні від неї карти похилу і експозиції були побудовані за даним космічних знімків ASTER з розміром комірки растру – 27 м.

Растрова карта глибини залягання ґрунтових вод побудована за допомогою методу просторової інтерполяції (Kriging) за даними моніторингових спостережень, проведених Причорноморським державним регіональним геологічним підприємством.

Векторні карти землекористування, водних об'єктів, населених пунктів, залізничних і автомобільних шляхів отримані шляхом імпортування бази Open Street Map. За допомогою SQL запитів до атрибутивної таблиці карти землекористування були отримані карти сільськогосподарських угідь, заповідників, житлової забудови, лісів і лісопосадок. В якості метрики близькості комірок растру до відповідних об'єктів, був використаний метод Евклідових відстаней, який дозволив створити растрові карти відстаней від водойм, річок, сільськогосподарських угідь, житлової забудови, меж міст, залізничних і автошляхів, аеропортів, заповідників, лісів і лісопосадок.

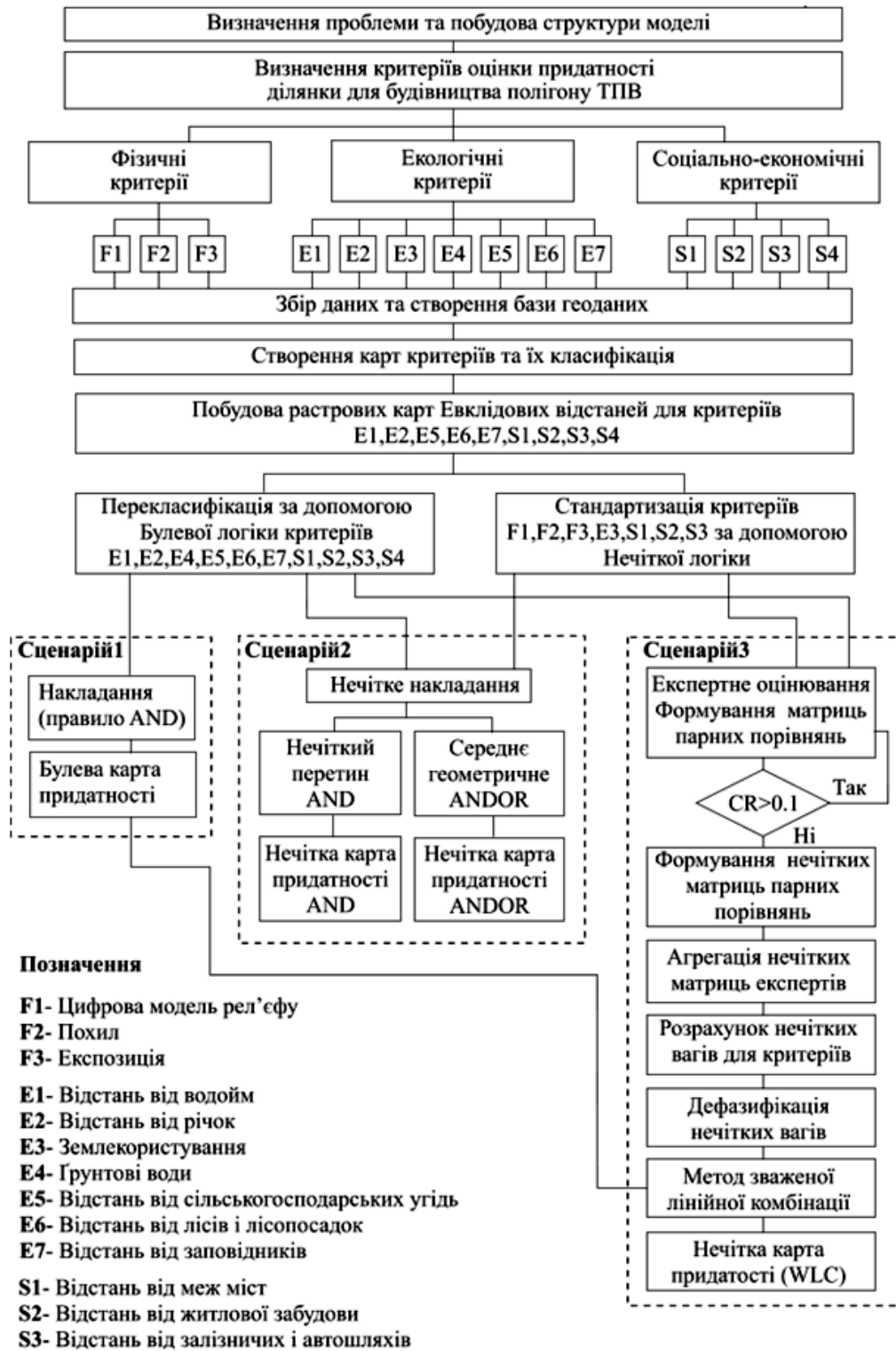


Рисунок 11 – Ієрархічна структура багатокритеріального прийняття рішень

Програма дослідження передбачала виконання трьох сценаріїв моделювання карти придатності: з використанням булевої логіки, нечіткої логіки та комбінації методів зваженого накладання (WLC) і нечіткого аналізу ієрархій (Fuzzy AHP).

1.3.3 Аналіз придатності з використанням булевої логіки

Аналіз придатності з використанням булевої логіки, відомий як Boolean Overlay, засновується на перекласифікації шарів критеріїв у двійкові значення придатності з врахуванням обмежень (порогів).

Атрибуту альтернативи привласнюється значення 1 (істина), якщо значення критерію для неї перевищує заданий поріг (наприклад, відстань від межі міста більше 1000 м), і 0 (хибність) – у протилежному випадку. Об'єднання шарів критеріїв з використанням булевого множення (AND) дозволяє отримати підсумкову карту придатності, яка визначає ділянки, що одночасно задовольняють всім пороговим значенням. Ділянка може бути чи придатною, чи непридатною, чітко належати чи одному, чи іншому класу, що виключає можливість її часткового членства у класі. На рис. 12 представлені карти критеріїв: Відстань від водойм (E1) та Відстань від залізничних і автошляхів (S3), що були перекласифіковані з використанням булевої логіки відповідно до їх порогових значень, наведених у табл. 3.1.

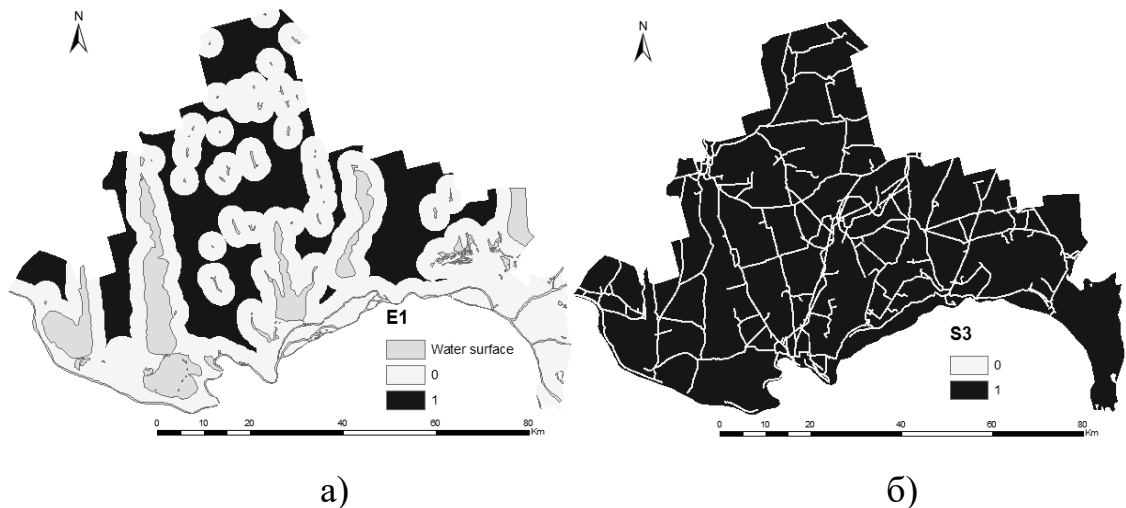


Рисунок 12 – Карти критеріїв перекласифіковані за допомогою булевої логіки: а) – відстань від водойми; б) – відстань від залізничних і автошляхів

1.3.4 Аналіз придатності з використанням нечіткої логіки

Для стандартизації критеріїв були обрані кусково-лінійні функції приналежності, вигляд яких наведений на рис. 13. Нечіткі функції та множини з контрольними точками для критеріїв представлені в табл. 5.

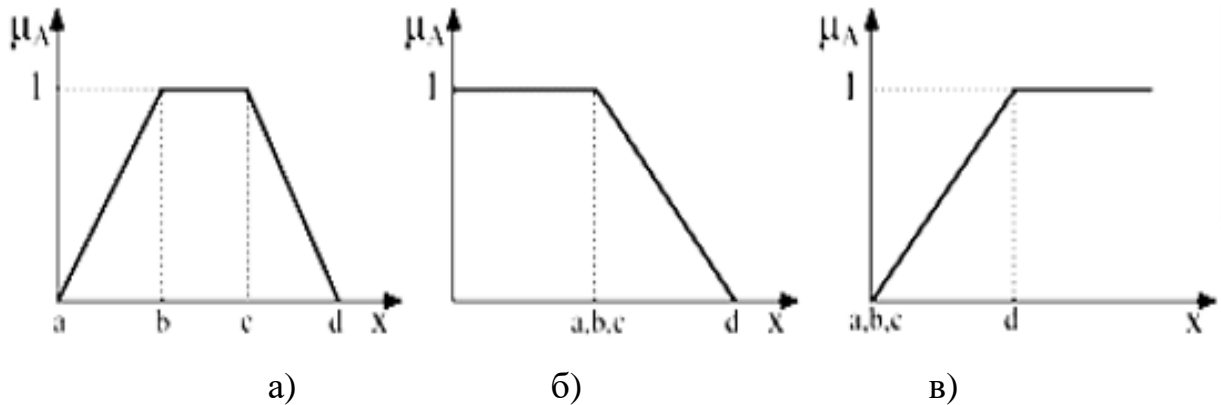


Рисунок 13 – Кусково-лінійних функцій належності, використані для стандартизації критеріїв: а) – трапецеїдальна; б) – монотонно спадна; в) – монотонно зростаюча

Для реалізації моделі були підготовлені шари тематичних векторних критеріїв. Проведено розкладання сукупності об'єктів, що належать досліджуваній території.

Таблиця 5 – Нечіткі функції та множини з контрольними точками критеріїв

№	Критерії	Контрольні точки				Функція належності
		a	b	c	d	
1	Цифрова модель рельєфу	0	–	–	5	Монотонно зростаюча
2	Похил (%)	5	–	–	15	Монотонно спадна
3	Експозиція	N	SE	SW	NW	Трапецевидна
4	Відстань від межі міст (км)	1	10	20	max	Трапецевидна
5	Відстань від житлової та громадської забудови (км)	0.5	–	–	1.5	Монотонно-зростаюча
6	Відстань від автомобільних та залізничних шляхів (км)	0.2	0.5	1	5	Трапецевидна

Декомпозиція проводилася відповідно до геометричних властивостей об'єктів (точкових, лінійних та багатокутних) та властивостей атрибутів, що визначають властивість об'єкта за певним критерієм (транспортна інфраструктура, водні об'єкти, населені пункти тощо).

Алгоритм просторової обробки складається з наступних етапів:

– перетворення векторних шарів у растрові. У розглянутій моделі атрибутами більшості критеріїв є значення відстаней від об'єктів, тому для таких критеріїв були побудовані растри евклідової відстані. Для цього використовується інструмент геооб'єктів пакету ArcGIS ArcToolbox Euclidean Distance.

– нечіткість шарів критеріїв (переклад атрибутів критеріїв у нечітку форму з використанням функцій членства, визначених експертами). Використовується геоінструмент нечіткого членства. У випадку, коли функція членства не була представлена в наборі інструментів, використовувались інструменти перекласифікації та ділення перекласифікації.

– агрегація шарів критеріїв з використанням різних типів нечіткої накладки. Використовується нечіткий інструмент накладання.

З загального переліку критеріїв ієрархічної структури прийняття рішення (рис. 14) були обрані критерії, що потребують нечіткої стандартизації, а саме:

– цифрова модель рельєфу. Згідно дослідженням і судженням експертів діапазон висот від 5 до 530 м вважається кращим діапазоном для полігону ТПВ. Висоти нижче 5 м є небезпечними з точки зору можливості підтоплення, і не рекомендуються для будівництва. Висота місцевості, що досліджується не перевищує 220 м, тому була обрана кусково-лінійна монотонно зростаюча функція належності з параметрами $a = b = c = 0$ і $d = 5$;

– похил. Високий похил потребує великих витрат, пов'язаних з будівництвом і експлуатацією полігонів на крутих схилах, а дуже плоскі похили, несуть ризики, пов'язані з поганим дренажним стоком. Для похилу була обрана монотонно спадна функція належності до нечіткої множини з

параметрами $a = b = c = 15, d = 30$;

– експозиція. Забруднення повітря, особливо метаном, потребує врахування рози вітрів. Північ (N) і північний захід (NW) є домінуючими напрямками вітру на території, що досліджується, тому обрана трапецевидна функція належності і цим небажаним експозиціям привласнені більш низькі значення;

– відстань від межі міст. Враховуючи, що міста є джерелом відходів, полігони ТПВ повинні розташовуватися на логічно обґрунтованій відстані від них. Відстань від 10 до 20 км вважається експертами найкращою, тому обрана трапецевидна функція належності з параметрами $a = 1, b = 10, c = 20, d = \max$;

– відстань від житлової та громадської забудови. Для стандартизації критерію обрана кусково-лінійна монотонно зростаюча функція належності з параметрами $a = b = c = 0.5$ і $d = 1.5$;

– відстань від автомобільних та залізничних шляхів. Будівництво доріг до полігонів, особливо на великі відстані, вимагає величезних попередніх витрат. Тому ділянка для полігону ТПВ повинна розміщуватися недалеко від автомагістралей та основних доріг. Для стандартизації критеріїв була обрана трапецевидна функція належності з параметрами $a = 0.2, b = 0.5, c = 1, d = 5$;

– землекористування. Для критерію землекористування були привласнені наступні значення: луки – 0.5, чагарники – 0.9, пустище – 1, всі інші – 0.

На рис. 14 представлені карти критеріїв: Відстань від меж міст (S1) та Відстань від залізничних і автошляхів (S3), що були перекласифіковані з використанням нечіткої логіки відповідно до їх функцій належностей, наведених у табл. 5.



Рисунок 14 – Карти критеріїв які перекласифіковані за допомогою нечіткої логіки: а) – відстань від меж міст; б) – відстань від залізничних і автошляхів

Фазифікація критеріїв, тобто перетворення їх значень у нечітку множину, на підставі експертної оцінки нечіткої функції належності кожної альтернативи відповідному класу придатності, дозволяє в подальшому об'єднати критерії за допомогою нечітких правил виведення. Для цього можуть бути використані операції нечіткої логіки, наприклад, перетин або об'єднання.

1.3.5 Аналіз придатності з використанням методу зваженого лінійного комбінування

Після того, як критерії були об'єднані і класифіковані в БКАР, МАІ використовується для розрахунку відносної ваги, важливості кожного критерія.

Використовуючи (2.10)–(2.15) були розраховані вагові коефіцієнти критеріїв і підкритеріїв. В оцінюванні приймали участь два експерти, що мають досвід в управлінні відходами. Для простоти викладення в роботі будуть представлені вже усереднені оцінки експертів, згідно (2.17).

В табл. 6 представлена матриця попарних порівнянь для трьох критеріїв (фізичні, екологічні, соціально-економічні) першого рівня ієрархічної структури.

Таблиця 6 – Матриця парних порівнянь для критеріїв

Критерії	F	E	S
F: Фізичні	(1, 1, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(1/3, 1/2, 1)
E: Екологічні	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)
S: Соціально-економічні	(1, 2, 3)	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)

Відносні нечіткі ваги кожного критерію (13), а також чітка вага кожного критерію M_i (14) і нормовані ваги w_i (15) наведені у табл. 7.

Таблиця 7 – Відносні нечіткі ваги і нормовані відносні ваги кожного критерію

Критерії	\tilde{w}_i			M_i	w_i
F: Фізичні	0.106	0.195	0.40	0.254	0.214
E: Екологічні	0.221	0.493	0.957	0.557	0.469
S: Соціально-економічні	0.153	0.311	0.663	0.376	0.317

Матриці парних порівнянь: \tilde{A}_F – для групи фізичних критеріїв, \tilde{A}_E – для групи екологічних критеріїв, \tilde{A}_S – для групи соціально-економічних критеріїв, наведені в таблицях 8, 9 та 10 відповідно.

Таблиця 8 – Матриця парних порівнянь \tilde{A}_F для підкритеріїв групи фізичних критеріїв

Критерії	F1	F2	F3
F1	(1, 1, 1)	(1/4, 1/3, 1/2)	(6, 7, 8)
F2	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)	(9, 9, 9)
F3	(1/8, 1/7, 1/6)	(1/9, 1/9, 1/9)	(1, 1, 1)

Таблиця 9 – Матриця парних порівнянь \tilde{A}_E для підкритеріїв групи екологічних критеріїв

Критерії	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)
E2	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
E3	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 2, 3)	(1, 2, 1)	(1, 2, 3)
E4	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)
E5	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)

Критерії	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E6	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
E7	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)

Таблиця 10 – Матриця парних порівнянь \tilde{A}_S для підкритеріїв групи соціально-економічних критеріїв

Критерії	S1	S2	S3	S4
S1	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)
S2	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(1/6, 1/5, 1/4)	(2, 3, 4)
S3	(1, 2, 3)	(4, 5, 6)	(1, 1, 1)	(5, 6, 7)
S4	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/7, 1/6, 1/5)	(1, 1, 1)

Відносні нечіткі ваги, а також чітка вага M_i і нормовані ваги w_i , що були розраховані для кожного підкритерію наведені у табл. 11.

Таблиця 11 – Нормовані ваги підкритеріїв

Критерії	\tilde{w}_i	M_i	w_i
F1	(0.222, 0.290, 0.396)	0.303	0.296
F2	(0.508, 0.655, 0.824)	0.663	0.649
F3	(0.047, 0.055, 0.066)	0.056	0.055
E1	(0.102, 0.188, 0.332)	0.208	0.191
E2	(0.069, 0.096, 0.148)	0.104	0.096
E3	(0.080, 0.143, 0.237)	0.154	0.141
E4	(0.181, 0.327, 0.549)	0.352	0.323
E5	(0.059, 0.087, 0.148)	0.098	0.090
E6	(0.055, 0.079, 0.127)	0.087	0.080
E7	(0.055, 0.079, 0.127)	0.087	0.080
S1	(0.125, 0.206, 0.362)	0.231	0.315
S2	(0.053, 0.083, 0.137)	0.091	0.124
S3	(0.207, 0.346, 0.548)	0.367	0.501
S4	(0.027, 0.040, 0.065)	0.044	0.060

1.4 Аналіз результатів БКАР по розміщенню полігонів твердих побутових відходів

1.4.1 Приклад побудови карт придатності з використанням різних методів БКАР

В результаті виконання аналізів дослідження були побудовані карти придатності, які представлені на рис. 15.

За аналізом придатності з використанням булевої логіки, який передбачав використання булевої логіки, побудована карта придатності, що наведена на рис. 15(а), розділена на два чітких класи, де значення 1 – придатні ділянки, 0 – непридатні ділянки. Сумарна площа знайдених придатних для будівництва полігону ТПВ ділянок склало 12.19 км² (або 0.25 % від загальної площі території, що досліджувалася).

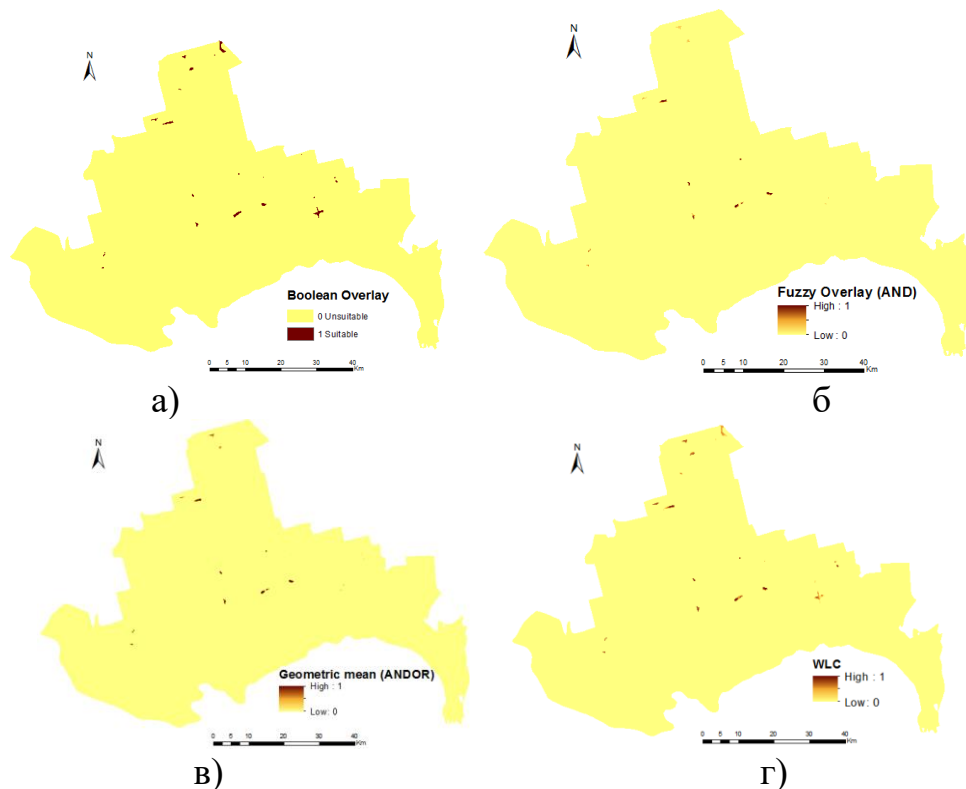


Рисунок 15 – Карти придатності: а) – Boolean Overlay; б) Fuzzy Overlay (AND); в) Geometric mean (ANDOR); г) Weighted Overlay

За аналізом придатності з використанням нечіткої логіки були побудовані карти придатності з використанням операції нечіткого перетину і середнє геометричного, які представлені на рис. 15(б) і рис. 15(в) відповідно. Використання нечіткої моделі дозволило побудувати більш точні карти за рахунок можливості ранжування комірок растру за ступеню придатності. Сумарна площа ділянок, знайдених з використанням нечіткого перетину, з індексом придатності більше 0.9, склало 0.81 км². З них тільки три ділянки мають загальну площу більше 30 га. Як і передбачалося, використання операції середнє геометричне дало більш оптимістичний результат. Так сумарна площа ділянок, індекс придатності яких має значення більше 0.9, склало 3.97 км². З них п'ять ділянок мають загальну площу більше 30 га.

Для створення карти придатності з використанням зваженого накладання, спочатку були побудовані об'єднанні карти фізичних, екологічних і соціально-економічних критеріїв, ваги підкритеріїв наведені в табл. 3.8. Далі ці три карти були агреговані в одну з використанням вагових коефіцієнтів з табл. 3.5. Для врахування вимог до будівництва полігонів ТПВ, представлених в табл. 3.1, з отриманої карти за допомогою операції накладання AND були видалити всі альтернативи, які входять до обмежувальних зон. В якості карти обмежувальних зон була використана карта придатності, що була побудована за сценарієм 1 даного дослідження. Таким чином WLC-модель була модифікована шляхом включення карт обмежень в рівняння (2.6). В результаті була отримана фінальна карта придатності (рис. 15, г), для якої сумарна площа ділянок, індекс придатності яких має значення більше 0.9, склало 5.02 км². З них п'ять ділянок мають загальну площу більше 30 га.

1.4.2 Основні результати дослідження

Результати дослідження показали, що модель, яка заснована на апараті булевої алгебри, є зрозумілою і простою в реалізації. Модель добре підходить для вирішення проблем прийняття рішень, де критерії представлені у вигляді

чітких вимог і обмежень із заданими кількісними пороговими значеннями і дозволяє отримати карту придатності розділену на два чіткі класи. Але недоліком такого підходу є відсутність можливості ранжування альтернатив (комірок растру), що не дозволяє порівняти дві ділянки відмічені як придатні, і оцінити яка з них є більш придатною. Чіткий підхід не є компенсаційним, тобто не дозволяє компенсувати погану придатність одного фактору, доброю придатністю іншого фактору. Зазначені недоліки помітні при порівнянні однієї і тієї ж ділянки на різних картах придатності (рис. 16).

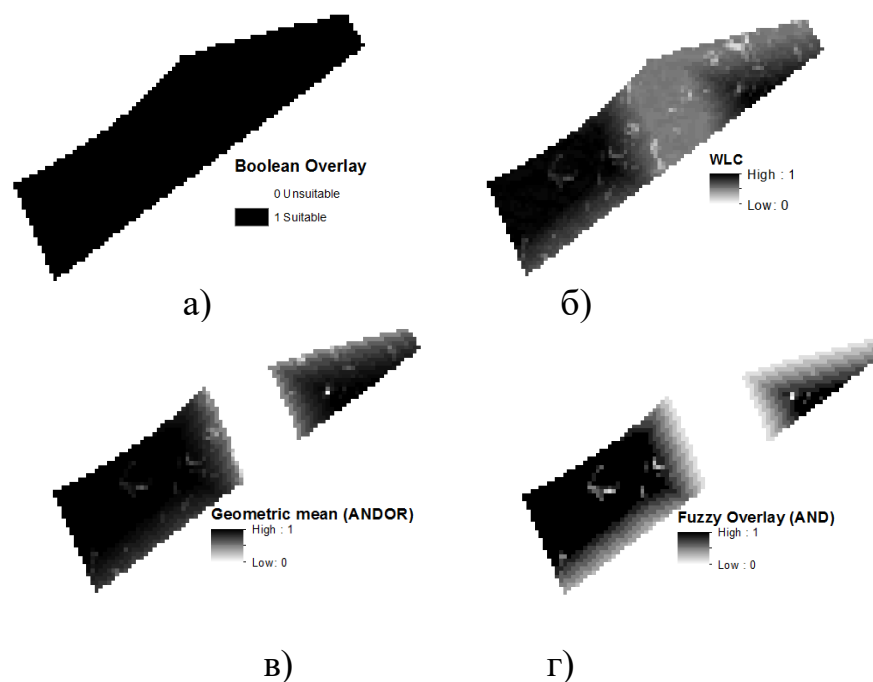


Рисунок 16 – Ділянка карти придатності: а) – Boolean Overlay;
 б) – Fuzzy Overlay (AND); в) – Geometric mean;
 г) – Weighted Overlay (WLC)

Відзначимо, що використання операції нечіткого перетину призводить до оцінювання на основі лише найнижчого рейтингу, тобто є песимістичним підходом до прийняття рішення. Оптимістичним підходом є використання операції нечіткого об'єднання, яка враховує тільки кращі оцінки всіх критеріїв.

І в першому, і в другому випадках можуть бути помилки, зв'язані з недооцінкою або переоцінкою відповідно. Компромісом між цими двома крайностями є використання методу зваженого накладання, який дозволяє компенсувати низький рейтинг одного фактора, високим рейтингом іншого фактору. Тобто зважена лінійна комбінація, що застосовується до нечітких факторів, може бути розцінена, як операція нечіткого усереднення.

Слід відмітити, що використання нечіткого зваженого накладання потребує розрахунку вагових коефіцієнтів, що є складним завданням. Так для врахування невизначеності суджень експертів в дослідженні був застосований модифікований нечіткий метод аналізу ієрархій. Крім того, процедура зваженої лінійної комбінації повинна виконуватися на наборі можливих альтернатив, які визначаються набором обмежень, тобто обов'язковою умовою виконання процедури зваженого накладання є об'єднання карт критеріїв з картами обмежень. В дослідженні показано, що у випадку, коли важко чи неможливо визначити ваги критеріїв, в якості альтернативного варіанту зваженого накладання може бути використаний метод нечіткого геометричного усереднення.

Висновки до розділу 1

Запропонована модель нечіткої експертної системи, яка дозволяє на основі просторових даних, представлених у вигляді растрових карт критеріїв в базі геоданих ГІС і інтегрованих багатокритеріальних методів прийняття рішень здійснити пошук ділянок для будівництва полігону ТПВ (на прикладі півдня Одеської області). На основі запропонованої методики обробки геопросторових даних в багатокритеріальному аналізі придатності територій може бути побудована комбінована карта придатності і виконано ранжування територій за ступенем придатності для розміщення промислових об'єктів. Застосування апарату нечіткої логіки, дозволяє враховувати експертні знання

і судження, що частково компенсує невизначеність вихідної інформації за рахунок використання досвіду експертів, а також отримати більш інформативну карту придатності, шляхом визначення рангу придатності альтернатив.

Викладено підхід до проектування багаторівневої ієрархічної структури прийняття рішень з урахуванням державних будівельних норм до будівництва полігонів ТПВ. Сформульовані групи критеріїв: екологічні, фізичні та соціально-економічні. Виконано агрегування шарів критеріїв в комбіновану карту придатності за різними методами дослідження: з використанням булевої логіки, нечіткої логіки та комбінації методів зваженого накладання і нечіткого аналізу ієрархій.

Показано, що використання апарату нечіткої логіки для стандартизації та розрахунку нормованих вагів критеріїв дозволяє врахувати невизначеність вихідної інформації та суб'єктивність в оцінках експертів. Також є можливість отримати більш інформативну карту придатності, за рахунок визначення рангу придатності альтернатив. Обґрунтовано використання операції нечіткого геометричного усереднення в якості альтернативи методу зваженої лінійної комбінації у випадках, коли важко чи неможливо визначити ваги критеріїв.

Доведено, що використання для агрегування карти придатності метода зваженої лінійної комбінації і нечіткого методу аналізу ієрархій є найбільш обґрунтованим для врахування суджень і оцінок експертів. Показано, що у випадку, коли важко чи неможливо визначити ваги критеріїв, в якості альтернативи може бути використаний метод нечіткого геометричного усереднення, результат виконання якого, є близьким до результату зваженої лінійної комбінації.

У роботі представлено багатокритеріальну структуру прийняття рішень для оптимального місця розташування полігону в нечіткому середовищі. Запропонований підхід складається з декількох етапів. Спочатку необхідно визначити критерії оцінки потенційних місць розташування. Цими критеріями є: відстань від аеропортів та аеродромів, відстань від межі курортного міста,

відкритих водоймищ господарського призначення, об'єктів які використовуються у культурно-оздоровчих цілях, заповідників, місць відпочинку перелітних птахів, морського узбережжя, відстань від межі міст, відстань від житлової та громадської забудови (санітарно-захисна зона), відстань від сільськогосподарських угідь, автомобільних та залізничних шляхів загальної мережі, відстань від межі лісу і лісопосадок, не призначених для використання в рекреаційних цілях, глибина залягання ґрунтових вод. Далі необхідно визначити потенційні місця. Після обрання території особи, які приймають рішення, надають рейтинги для критеріїв. Нечіткий TOPSIS використовується для визначення сукупних балів для всіх потенційних місць розташування, і той, який має найвищий бал, нарешті, вибирається для реалізації.

В роботі показана здатність справлятися з безліччю критеріїв і моделювати невизначеність в плануванні розташування полігонів за допомогою використання лінгвістичних параметрів і нечіткої теорії. Запропонований підхід може бути практично застосований при впровадженні нових систем запропонованих муніципальними адміністраціями.

Це дослідження лише аналізує, що при великій кількості критеріїв та важливості альтернативи підтримати рішення про вибір місця розташування ТПВ. Це дослідження має бути розроблено в системі підтримки прийняття рішень на веб-основі, щоб час заповнити данні респондентами можна було швидше та точніше за обмежений часом для полегшення робочої діяльності.

Результати дослідження можуть бути використані муніципальними органами самоврядування для підтримки прийняття рішень щодо пошуку придатних ділянок для розміщення полігонів ТПВ на території області.

РОЗДІЛ 2. ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЗЗ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТАНУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПО-ДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Ґрунтовий покрив є одним з основних компонентів довкілля, що виконує життєво важливі біосферні функції. Ґрунтовий і рослинний покрив у природі утворюють єдину систему. Втрата ґрунтом родючості, його деградація позбавляють рослини екологічних основ їхнього існування. Тому відновлення родючості деградованих ґрунтів – це відновлення природного екологічного балансу територій, порушеного людиною у результаті нераціональної господарської діяльності [53].

Ґрунти регулюють якість поверхневих і підземних вод, склад атмосферного повітря, є середовищем перебування більшості живих організмів на поверхні суші, забезпечують сприятливе середовище для людини, є основним джерелом виробництва сільськогосподарської продукції. Тому найважливішою умовою збереження біосфери, нормального рослинного покриву і продуктивності сільського господарства є постійна турбота про охорону ґрунту, його структуру і властивості, здійснення системи заходів з підвищення родючості.

На жаль, проблемі моніторингу стану ґрунтів в Україні не приділяється належної уваги. Недостатньо проводяться дослідження розповсюдження, причин виникнення і шляхів усунення деградації земель. Тому актуальним завданням є забезпечення постійного моніторингу і аналізу стану земель сільськогосподарського призначення з використанням даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та ГІС-технологій.

Об'єктом дослідження є сільськогосподарські території Одеської області.

Метою роботи є розробка програмного забезпечення для оцінки динаміки змін стану земель сільськогосподарського призначення (СГП) з

використанням методів збору і обробки даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та сучасних ГІС-технологій.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- виконати аналіз предметної області, пов'язаний з деградацією земель сільськогосподарського призначення;
- обґрунтувати вибір методів збору та обробки даних ДЗЗ, що будуть використовуватися для вирішення проблеми моніторингу стану земель СГП;
- надати опис ГІС-технологій, що будуть використані для вирішення проблеми моніторингу стану земель СГП;
- розробити алгоритми і технології етапів геоінформаційного аналізу об'єкту дослідження;
- виконати збір, обробку та просторовий аналіз даних ДЗЗ;
- виконати аналіз отриманих результатів;
- створити інтерактивну карту проекту.

2.1 Аналіз предметної області, пов'язаної з оцінкою стану земель сільськогосподарського призначення

2.1.1 Актуальність роботи

Природно-кліматичні умови України дуже різноманітні, що визначає сприятливість територій для сільськогосподарського виробництва.

Відповідно до Стратегії удосконалення механізму управління в сфері використання та охорони земель с/г призначення державної власності та розпорядження ними станом на 1 січня 2017 р. земельний фонд України складає 60,3 млн. га, це – близько 6% території Європи. Площа сільськогосподарських земель становить 42,7 млн. га, тобто 70% площі усієї території країни, а площа ріллі – 32,5 млн. га, 78,4% усіх с/г угідь (рис.1).

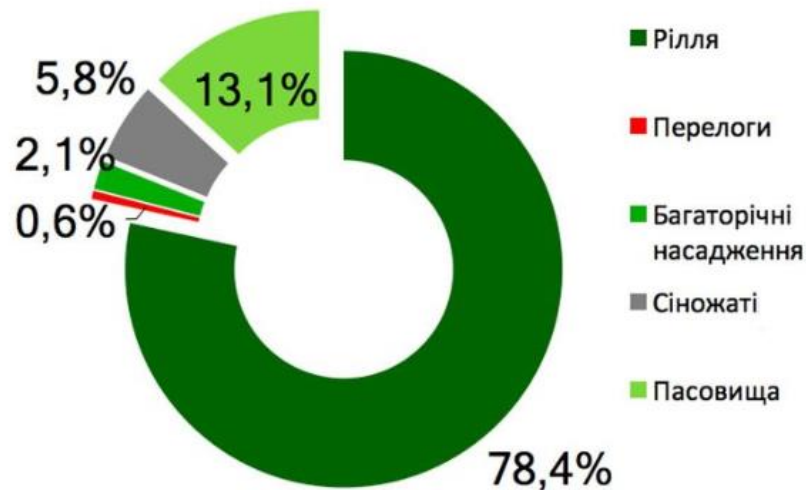


Рисунок 1 – Структура сільськогосподарських угідь України

Понад 80% с/г угідь розорано у Запорізькій, Миколаївській, Одеській, Кіровоградській, Дніпропетровській областях. Україна входить до першої десятки країн світу з найбільшою кількістю орних земель і, згідно даних міжнародної організації ФАО, поступається у цьому рейтингу лише США, Китаю, Індії, Росії, Канаді, Нігерії, Бразилії та Австралії. Наслідки високого ступеня розораності – деградація ґрунтів та опустелення.

Наразі в Україні нараховується понад 1,1 млн. га деградованих, малопродуктивних та техногенно забруднених земель. Майже 50% урожаю сільськогосподарських культур вирощується на ґрунтах, оброблених хімічними добривами та отрутохімікатами. Великої шкоди ґрунтам України завдає необґрунтована меліорація. Майже 50 тис. га орних земель підтоплені. Якщо узагальнити всі зміни, то 22% території України можна характеризувати як сильно і дуже сильно уражені та непридатні для повного використання. Внаслідок екстенсивного розвитку сільського і лісового господарств, неефективного ведення заповідної та інших природоохоронних справ порушилося співвідношення площ ріллі, природних кормових угідь, лісових та водних ресурсів, і як наслідок – інтенсивний розвиток ерозійних процесів, ущільнення орного шару ґрунту, зниження його родючості, послаблення стійкості природних ландшафтів України [53,54].

Україна має всі передумови стати провідною аграрною державою з великим експортним потенціалом сільськогосподарської продукції. І для цього є багато сприятливих передумов, але треба забезпечити раціональне використання і збереження ґрунтів як найважливішого компонента природного середовища. Для цього необхідно забезпечити постійний моніторинг стану земель сільськогосподарського призначення, з метою своєчасного виявлення негативних змін стану ґрунтів і вживання заходів з відновлення деградованих ґрунтів.

Ефективним і сучасним способом проведення моніторингу змін стану земель СГП є використання історичних даних ДЗЗ високої роздільної здатності та ГІС-технологій. Вибір методів геоінформаційного аналізу цих різночасових даних може дозволити простежити зміни, що відбувалися з об'єктом дослідження протягом зазначеного періоду, на основі результатів цього аналізу отримати кількісні оцінки процесів і виробити заходи щодо зменшення впливу негативних факторів на процес деградації земель СГП. В роботі за можливістю будуть використовуватися дані, що є у вільному доступі і геоінформаційні системи з відкритим програмним кодом.

2.1.2 Визначення та причини деградації земель

Деградація – це зниження або втрата (у посушливих, напівпосушливих і субгумідних районах) біологічної та економічної продуктивності і складної структури богарних орних земель, зрошуваних орних земель чи пасовищ, лісів, лісистих ділянок внаслідок землекористування або від процесу або сукупності процесів, включаючи процеси, що виникають в результаті діяльності:

- ерозія ґрунтів під впливом вітру і/або води;
- погіршення фізичних, хімічних і біологічних чи економічних властивостей ґрунтів;
- довготермінова втрата природного рослинного покриву.

На підставі того, як цей термін використовується в даний час, деградація може бути визначена як істотне зниження біологічної продуктивності району через втручання людини. Закон України «Про охорону земель» визначає деградацію земель, як природне або антропогенне спрощення ландшафту, погіршення стану, складу, корисних властивостей і функцій земель та інших органічно пов'язаних із землею природних компонентів.

Господарська діяльність людини (антропогенний фактор) є основною причиною деградації ґрунтів. Коли господарська діяльність людини не перевищує екологічно допустиме навантаження на ґрунт, він не деградує. Але варто переступити цей поріг, як ґрунт починає деградувати. Потрібно чітко усвідомити, що деградовані землі дуже важко, а іноді зовсім неможливо відродити [55].

Відомо, що фізичні фактори навколишнього середовища, особливо клімату, відіграють фундаментальну роль в деградації земель. Деградація відбувається, коли процеси деградації істотно перевищують відновлювальні можливості природи. Причини деградації земель іноді можуть бути локальними і відносно простими, але іноді деградація може бути результатом складних глобальних змін.

Деякі з цих змін можуть бути частково обумовлені діяльністю людини. Існують чіткі тенденції визнання людського фактора в якості каталізатора деградації земель. Однак визначити рівень відповідальності людини в тій чи іншій ситуації найчастіше є складним завданням. Труднощі виникає, тому що людина і природа пов'язані в інтерактивну систему, в якій причина і наслідок, процес і відповідь часто розмиті. Наприклад, адаптивні можливості конкретного використання ресурсів системи можуть бути перевантажені непередбаченими природними явищами, наприклад, тривала посуха. У цьому контексті люди часто не зовсім ініціатори деградації і змін.

Антропогенні аспекти деградації можуть бути як умисними, так і ненавмисними. Часто люди ініціюють зміни навколишнього середовища, знаючи, що деякі з наслідків означатимуть деградацію. Наприклад, видобуток

газу неминуче призводить до виникнення деградованих земель і забруднених водних систем. Використання випалювання територій, щоб прискорити зростання культур, видалити залишки старих рослин, уповільнити ріст бур'янів і т.д. Ці стратегії відображають свідому зміна навколишнього середовища, навіть коли це зміна представляють є біологічною деградацію.

Деградація ґрунту може бути як якісною, так і кількісною.

Кількісна деградація тягне за собою втрати ґрунтів, наприклад, через ерозію. Якісна деградація включає: зниження родючості; зменшення поживних речовин для рослин; структурні зміни; зміни в аерації і вологості ґрунту; зміни в лужності або кислотності, і зміни ґрунтової флори і фауни.

Незалежно від причини, процес деградації, як правило, починається з пошкодження рослинного покриву. Це рослинність, яка зберігає ґрунт в її природному стані і захищає її від ерозії. Низькі темпи природного руйнування рослинного покриву значно прискорюються при його порушенні оранкою, випасом худоби, вирубкою лісу або пожежею. Тому в посушливих районах, де рослини часто ростуть поблизу кордонів екологічної толерантності, навіть незначні зміни факторів середовища можуть привести до деградації [55].

Проблема ефективності використання земельних ресурсів дедалі все більше ускладнюється у зв'язку зі зростаючою комплексністю її характеру. Особливо це стосується таких аспектів як технологічний, економічний, соціальний та екологічний. Сьогодні рівень використання земель в Україні став настільки критичним, що подальша деградація потенціалу земельних ресурсів у с/г може мати катастрофічні наслідки [56].

В умовах сучасного динамічного розвитку суспільства, ускладнення технічної та соціальної інфраструктури, інформація стає стратегічним ресурсом, що визначає ефективне землекористування. На цій інформації ґрунтуються всі продуктивні управлінські рішення і дії. Сучасні інформаційні технології, зокрема геоінформаційні, системи GPS і ДЗЗ стали важливим чинником і засобом підвищення ефективності землекористування. Аерокосмічні засоби дозволяють отримувати високоякісну інформацію і

скорочувати час її актуалізації до декількох годин. Висока інформативність спостережень зі штучних супутників Землі (ШСЗ) дає можливість швидко і об'єктивно оцінювати запаси швидко змінюваних ресурсів (запаси снігу, рослину масу пасовищ тощо), стан посівів, лісових угідь, виникнення і розвиток загрозливих природних явищ (повені, підтоплення, лісові пожежі, буревії, циклони тощо) і надзвичайних ситуацій, забруднення природного середовища тощо. Це дозволяє своєчасно вживати заходів з раціонального використання природних ресурсів і запобігати збиткам від стихійних лих і екологічних катастроф [57].

1.2.3 Опис об'єкту дослідження

Одеська область – найбільша за площею область України (її територія становить 33,3 тис. кв. км – 5,5% території України) розташована на крайньому південному заході України, вздовж державних кордонів з Республікою Молдова та Румунією (рис.2). На півночі межує з Вінницькою областю, на північному сході – з Кіровоградською, на сході – з Миколаївською областю, на півдні та південному сході омивається водами Чорного моря.



Рисунок 2 – Одеська область на карті України

Об'єктом дослідження даної роботи є земельні ресурси Одеської області (3331,4 тис. га), які характеризуються надзвичайно високим рівнем освоєння. Найбільшою є питома вага земель сільськогосподарського призначення – 2659,2 тис.га, з них рілля – 2075,5 тис.га. У структурі земель землі сільськогосподарського призначення займають 79,8%, у тому числі рілля – 62,3% [58]. В табл.1.1 наведена структура фонду земель СГП за даними Головного управління Держгеокадастру в Одеській області.

Відповідно до інформації структурних територіальних підрозділів Головного управління Держгеокадастру в Одеській області станом на 01.01.2017 р. площа деградованих земель по Одеській області складає 33,0 тис. га [58].

На території Одеської області діє Регіональна програма розвитку земельних відносин та охорони земель на 2016-2018 роки, затверджена рішенням Одеської обласної ради від 21 грудня 2015 року № 39-VII (зі змінами). Програма розроблена з метою раціонального використання та охорони земельних ресурсів, спрямована на реалізацію державної політики України щодо забезпечення сталого розвитку землекористування, рівності права власності на землю територіальних громад та держави, захисту прав власників та користувачів земельних ділянок, а також для створення більш сприятливих умов для залучення інвестицій у пріоритетні галузі економіки області [58].

Таблиця 1.1 – Структура фонду земель СГП Одеської області

Основні види сільськогосподарських угідь	Рілля	Перелоги	Багаторічні насадження	Сіножаті і пасовища
Всього тис.га	2074,4	27,4	87,3	403,3
% від загальної площі території	62,3	0,8	2,6	12,1

За даними Центра оцінки соціальних і екологічних ризиків [59] проблема деградації ґрунтів в результаті їх інтенсивного використання віднесена до основних екологічних ризиків в Одеській області поряд з:

- інтенсивною забудовою приморської зони;
- неконтрольованою вирубкою в лісопосадках;
- проблемою утилізації відходів;
- низькою якістю води і браком питних ресурсів;
- проблемою озера Сасик і незадовільним станом гідротехнічних споруд на річці Дунай.

2.2 Опис використаних даних та методів обробки

2.2.1 Дані дистанційного зондування Землі

Дані дистанційного зондування (ДДЗ) – дані про поверхню Землі, об'єкти, розташовані на ній або в її надрах, отримані в процесі зйомок будь-якими неконтактними, тобто дистанційними методами, за допомогою фіксування відбитої сонячної енергії і випромінювань теплової енергії (електромагнітного випромінювання) від земної поверхні, що реалізується сенсорами, розташованими на орбітальних супутниках планети. За традицією, що склалася, до ДДЗ відносять дані, отримані за допомогою знімальної апаратури наземного, повітряного або космічного базування, що дозволяє отримувати зображення в одному або декількох ділянках електромагнітного спектра [60].

Схема, наведена на рис.3. ілюструє загальний принцип роботи технологій ДЗЗ, де

- А – джерело електромагнітної радіації (Сонце);
- В – проходження сонячної радіації через атмосферу при взаємодії з нею до земної поверхні;

- С – відбиття і випускання електромагнітного випромінювання від земної поверхні;
- D – фіксування відбитої і випущеної енергії сенсором орбітального супутника і її збереження в спеціальному форматі;
- E – передача і первинна обробка отриманих даних;
- F – Аналіз даних, інтерпретація отриманих результатів;
- G – застосування отриманих результатів (розробка карт, прийняття рішень та ін.).

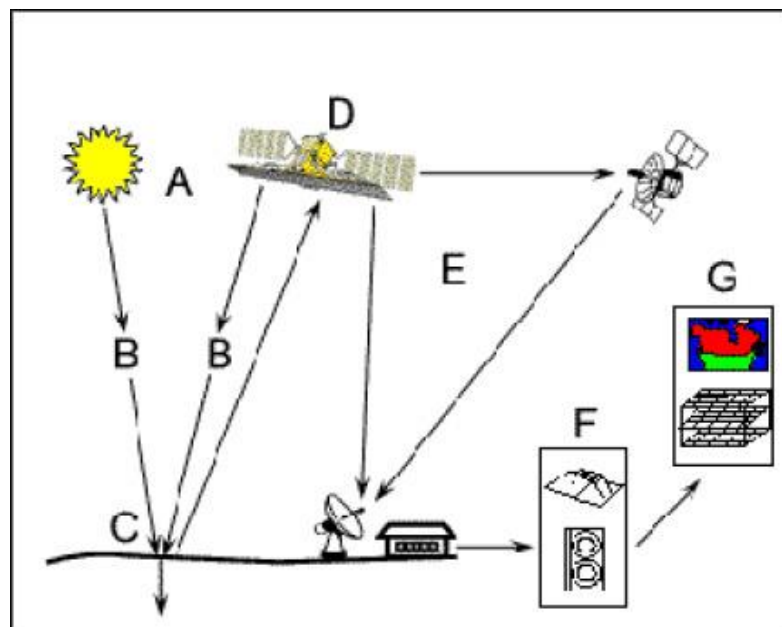


Рисунок 3 – Загальний принцип роботи технологій ДЗЗ

Основними перевагами космічних знімків в дослідженнях є:

- відносна доступність даних для кінцевого користувача, адже значна база архівних даних доступна безкоштовно;
- порівнянність (можливість проводити порівняння даних за різні роки, виконаних апаратурою з певною часовою здатністю, для виявлення змін);
- оглядовість (зйомкою можуть бути охоплені великі території, від ділянки площею 1 км² до півкуль з геостационарної орбіти).

Основна характеристика космічних знімків Землі – просторова роздільна здатність.

2.2.1.1 Класифікація знімків за просторовою роздільною здатністю

Класифікація знімків за просторовою роздільною здатністю:

- космічні знімки дуже низької роздільної здатності 10 000 – 100 000 м;
- космічні знімки низької роздільної здатності 300 – 1 000 м;
- космічні знімки середньої роздільної здатності 50 – 200 м;

Космічні знімки високої роздільної здатності:

- космічні знімки відносно високої роздільної здатності 20 – 40 м;
- космічні знімки високої роздільної здатності 10 – 20 м;
- космічні знімки дуже високої роздільної здатності 1 – 10 м;
- космічні знімки надвисокої роздільної здатності менше 0,3 – 0,9 м.

Проведемо огляд безкоштовних космічних знімків, які дозволяють вирішувати тематичні завдання оцінки природних ресурсів і навколишнього середовища.

До космічних знімків дуже низької роздільної здатності можна віднести знімки QuikSCAT, які отримують за допомогою апаратури SeaWinds, що представляє собою скаттерометр – високочастотний радіолокатор мікрохвильового діапазону для визначення швидкості і напрямку вітру поблизу поверхні океану. Вимірювання засновані на зміні властивостей відбитого випромінювання радіолокатора при виникненні невеликих хвиль (рябі) на поверхні океану під впливом поривів вітру. До знімків дуже низької роздільної здатності відносяться також космічні знімки Meteosat, які забезпечують безперервне стеження за погодою.

Космічні знімки низької роздільної здатності NOAA (AVHRR) використовуються в екології для виявлення великих промислових викидів і моніторингу їх подальшого поширення, а також для виявлення великих скидів забруднюючих речовин у водойми, оцінки масштабів катастрофічних повеней, моніторингу пилових бур тощо. В метеорології знімки NOAA використовують для візуального відображення стану погоди і складання синоптичних карт,

оцінки стану та контролю динаміки снігового покриву. Також знімки знайшли застосування у сільському і лісовому господарстві для контролю за виникненням і поширенням лісових і степових пожеж, а також в океанології і гідрології для оцінки льодової обстановки і оперативного відстеження зон затоплень в період весняної повені та паводку. Для контролю розвитку сільськогосподарських культур і стану рослинного покриву можуть бути використані космічні знімки низької роздільної здатності SeaStar (SeaWiFS).

Космічні знімки середнього дозволу TERRA / AQUA (MODIS) використовують для вирішення наступних завдань:

- вивчення хмарного покриву, концентрації зважених часток (аерозолів), розподілу водяної пари в атмосфері, моніторинг небезпечних атмосферних явищ;
- оперативного картографування і вивчення температурного режиму океану;
- оперативного автоматизованого виявлення вогнищ лісових пожеж розміром до десятків квадратних метрів;
- визначення та дрібномасштабного картографування біопродуктивності лісових масивів і сільськогосподарських угідь;
- моніторингу динаміки льодовиків, процесів заболочування і опустелювання, засолення, повеней, паводків;
- моніторингу природних та антропогенно-спровокованих катастроф на регіональному і глобальному рівнях (повені, цунамі, виверження вулканів тощо).

До космічних знімків середньої роздільної здатності відносяться знімки ENVISAT (MERIS) за допомогою яких відбувається:

- визначення температурного режиму верхніх шарів океану;
- управління рибним хозяйством – спостереження за станом фітопланктону;
- управління прибережними зонами – фіксування розмиву берегів, попередження катастрофічних явищ.

В більшості задач моніторингу використовують космічні знімки високої роздільної здатності: LANDSAT-7 (ETM +), LANDSAT-4,5 (TM), LANDSAT - 1,3 (MSS) TERRA (ASTER), HYPERION (EO-1), які дозволяють будувати топографічні карти (до масштабу 1:10 000), а також:

- виявляти та здійснювати моніторинг нафтових забруднень на суші і на шельфі в районах видобутку і транспортування нафти і нафтопродуктів;
- здійснювати оцінку стану льодового і снігового покриву;
- здійснювати оцінку стану і ступеня деградації сільськогосподарських і пасовищних земель;
- виконувати спостереження за розвитком лісових і степових пожеж;
- здійснювати моніторинг повеней, стану гідротехнічних споруд;
- будувати цифрові моделі рельєфу (ЦМР), сучасних тематичних карт стану природних об'єктів (рослинності, стану ґрунтового покриву, аварійно небезпечних територій та ін.);
- сільськогосподарське картографування, моніторинг стану посівів, прогнозування врожайності.

Космічні знімки високої здатності CBERS (WFI, CCD, IRMSS) і ENVISAT (ASAR) дозволяють будувати ЦМР з точністю 5-10 м по висоті і карти масштабу 1: 200 000 та здійснювати сільськогосподарський, лісогосподарський моніторинг: оновлення карт, стеження за станом посівів, контроль використання земель, незаконного вирубування.

Для створення та оновлення топографічних і спеціальних карт масштабу 1: 100 000 можуть бути використані космічні знімки високої здатності SPOT, масштабу 1: 25000 і створення високоточних ЦМР і ЦММ (3-6 м по висоті) – космічні знімки RADARSAT, а для масштабу 1:10 000 і ЦМР і ЦММ високої точності (2-4 м по висоті) – знімки TERRASAR-X.

До космічних знімків надвисокої роздільної здатності відносяться знімки Ikonos, WorldView, QuickBird, SAS.Планета – програма, що призначена для перегляду і завантаження супутникових карт високого дозволу сервісом Google maps.

2.2.1.2 Характеристики космічних знімків

Для вибору знімка під цілі наукового дослідження необхідно розуміти яка існує різниця між супутниками різних сенсорів. Знімки, отримані різними супутниками, розрізняються за такими основними параметрами:

1) Просторова роздільна здатність (spatial resolution): квадрат на земній поверхні, що відповідає 1 пікселю растра знімка (варіює від 0,3x0,3 м до 1000x1000 м).

2) Число каналів зйомки і спектральний діапазон кожного каналу – ці характеристики безпосередньо впливають на те, які властивості земної поверхні можна виявити по знімках (табл.2).

3) Часова здатність (temporal resolution) – приблизний інтервал через який повторюється знімок в даній місцевості (на добу).

4) Загальна площа одного знімка (чим дрібніше здатність, тим більше розмір самого знімка).

5) Часовий інтервал в якому проводилась супутникова зйомка даними сенсором.

6) Вартість придбання (оригіналу знімка і похідних продуктів).

Таблиця 2 – Характеристики та використання знімків ASTER, Landsat і MODIS

Сенсор	ASTER	Landsat (MSS, TM, ETM+, OLI)	MODIS
Супутник	Terra	Landsat1...Landsat8	Terra, Aqua
Роки роботи	2000 – по цей час	1972 – по цей час	1999, 2002 – по цей час
Число спектральних каналів	15	4(L1)...11(L8)	36
Загальний спектральний діапазон (µm)	0.52 – 11.65	0.43 – 12.51 (по L8)	0.4 – 14.4
Територія одного	60 x 60	185 x 185	1130 x 1130

знімку (кв.км)			
Здатність просторова (метри в 1 пікселі)	15 – 90	15 – 100	250 – 1000
Часовий інтервал (доба)	16 і менше	16	0.5 – 1

Електромагнітний спектр (electromagnetic spectrum) – це повний інтервал всіх існуючих довжин хвиль електромагнітної радіації. Він варіює від найкоротших хвиль (гамма і рентгенівське випромінювання) до найдовших хвиль (мікро- і радіохвилі). Людське око бачить світ лише в невеликому інтервалі електромагнітного спектра, який так і називають – видимою областю спектра (рис.4). Він розташований між довжинами хвиль 0,4 і 0,7 μm (мікрометрів).

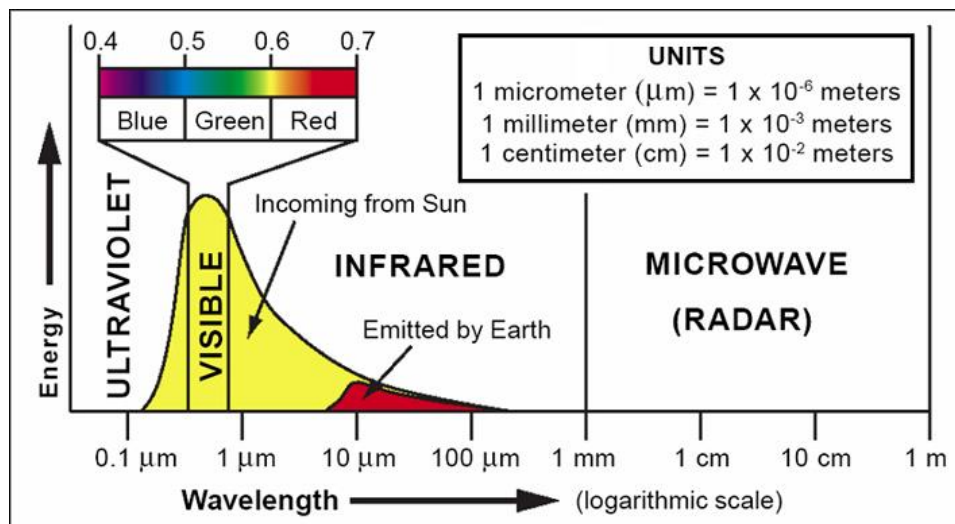


Рисунок 4 – Електромагнітний спектр

Звичайна фотозйомка здійснюється в діапазоні тільки трохи ширше видимого – між 0.3 μm і 0.9 μm (ультрафіолетовий, видимий і ближній інфрачервоний діапазони). На відміну від звичайної фотографії, технології дистанційного зондування дозволяють отримувати знімки земної поверхні практично з усього електромагнітного спектра – точніше, з усіх інтервалів спектра, доступних до зйомки.

Атмосфера Землі має властивість – поглинати електромагнітне випромінювання на певних інтервалах електромагнітного спектра (тобто випромінювання певних довжин хвиль). Ті ділянки електромагнітного спектра, що не поглинаються Атмосферою, – називаються "атмосферними вікнами" (atmospheric windows), і тільки на цих інтервалах можливо отримання знімків методами дистанційного зондування (рис.5). Блакитним кольором показані ділянки спектра, що поглинаються Атмосферою, а жовтим кольором показані атмосферні вікна, в яких можливе отримання супутникових знімків земної поверхні методами дистанційного зондування.

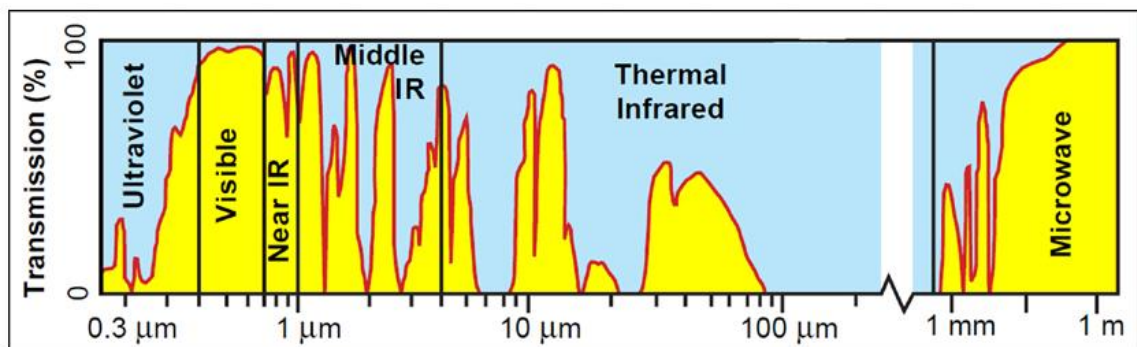


Рисунок 5 – Атмосферні вікна

При всіх можливих до зйомки діапазонах електромагнітного спектра кожним конкретним сенсором супутника він використовується не повністю, а лише в тих інтервалах, в яких даний сенсор налаштований проводити зйомку. Кожним сенсором супутника зйомка поверхні проводиться в спектральних каналах (spectral bands), кожен з яких має свій чітко визначений інтервал електромагнітного спектра, в якому проводиться знімок. Число спектральних каналів і спектральний діапазон кожного каналу – різний у різних сенсорів, Завантажуючи знімок з архіву – користувач отримує стільки окремих сцен (файлів знімка), скільки спектральних каналів має даний сенсор (рис. 6).

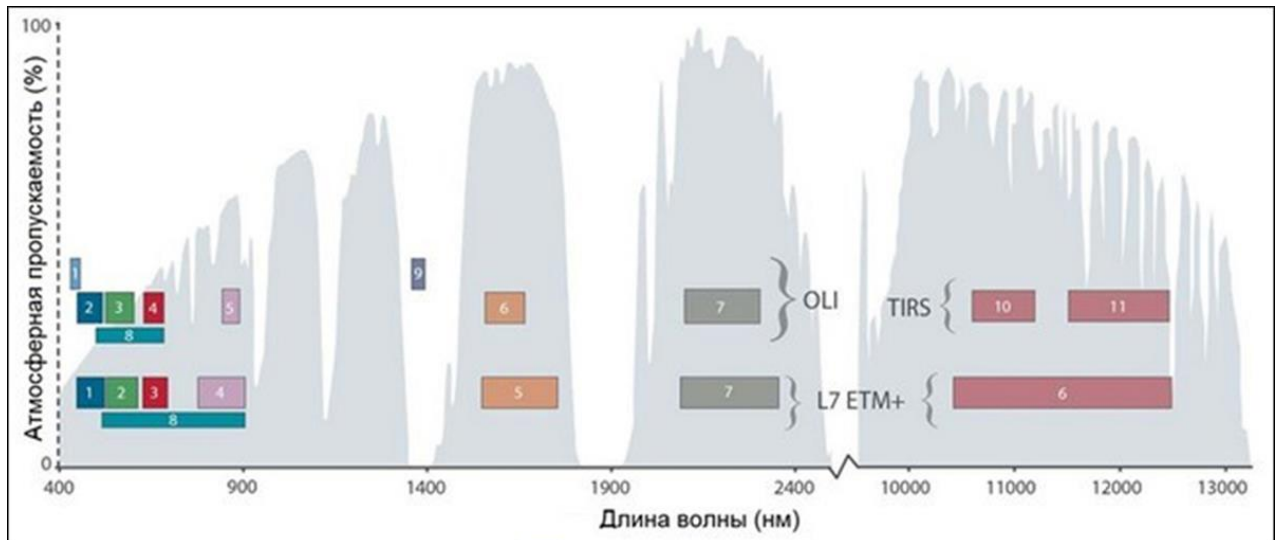


Рисунок 6 – Спектральні діапазони каналів супутників Landsat 7 та Landsat 8

Результат супутникового фотографування земної поверхні в одному каналі – називають "сценою знімка" (scene of image). Кожен знімок має таке число сцен, скільки спектральних каналів має сенсор. Інакше кажучи, всі сцени одного знімка – це фотографії однієї і тієї ж місцевості і одного і того ж часу, зроблені в різних спектральних каналах сенсора.

Сцена знімка є растр з мінімальною одиницею зображень – квадратний піксель. Побачити цю одиницю можна, якщо відкрити сцену знімка в будь-якому графічному редакторі або ПО для обробки супутникових знімків і довести збільшення зображення до максимуму (рис.7).

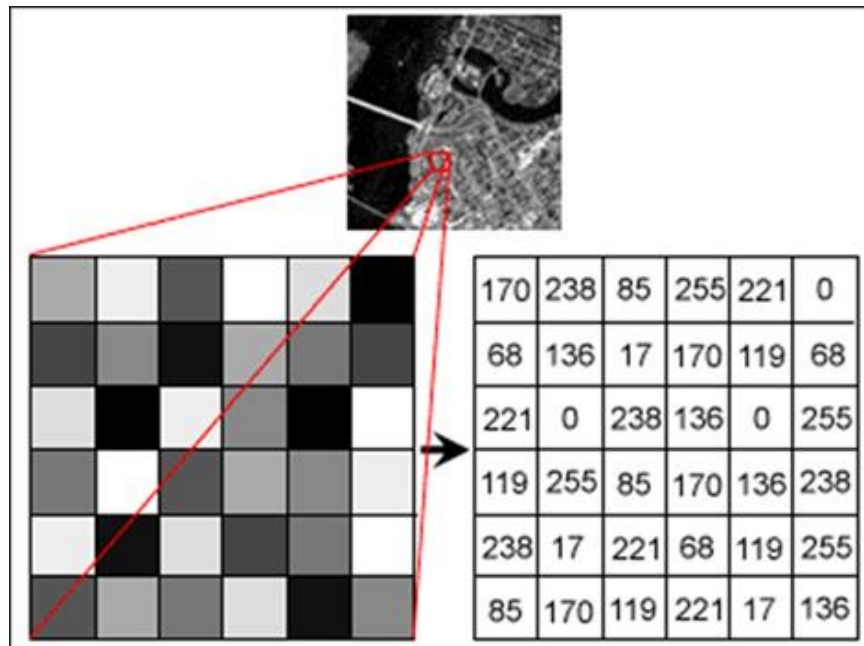


Рисунок 7 – Рівень сірого (DN) знімка з числом ступенів варіації від білого до чорного – 256

Сенсор супутника реєструє відбите і випущене від земної поверхні електромагнітне випромінювання і зберігає цей вимір для кожного пікселя знімка в особливих одиницях, званих "рівень сірого" або Digital Number (DN).

Рівні сірого знімків сучасних сенсорів діляться на 64, 256 і 65536 ступенів. Рівень сірого пікселя – це розтягнуте на задане число ступенів колір пікселя від чисто чорного (DN = 0) до чисто білого кольору (DN = максимально можливе значення ступені, тобто 64, 256 або 65536).

Число ступенів DN залежить від кількості двійкових цифр (біт) – чисел 0 і 1, необхідних для збереження в цифровій формі максимального значення параметра. Щоб отримати число можливих ступенів – потрібно число 2 вознести до степеню, яка і є це необхідно число біт. Так при 6 бітах, число ступенів $2^6 = 64$, при 8 бітах (найбільш частий випадок), число ступенів $2^8 = 256$ і при 16 бітах число ступенів $2^{16} = 65536$ ступенів (наприклад, стільки ступенів мають знімки супутника Landsat 8, на відміну від більш ранніх супутників Landsat, що мають 256 ступенів).

Рівень сірого (DN) кожного пікселя растра супутникового знімка є записаний середній вимір енергії відбитої і випущеної від тієї території на поверхні планети, яка відповідає цьому пікселю: тобто квадрату, сторона якого в сучасних знімках варіює від 0,3 до 1000 метрів. Підкреслимо, що сенсор фіксує в пікселі для кожного такого квадрата рівень сірого, виходячи з середнього показника відбитої і випущеної енергії всіх типів поверхонь, що складають квадрат.

2.2.1.3 Опис даних, що використані у дослідженні

Скануючі оптико-електронні системи є основними джерелами даних ДЗЗ при вирішенні завдань природно-ресурсного та екологічного моніторингу.

У роботі магістерській використані дані, одержувані зі супутників Landsat 5, 7 і 8 (USGS, США), так вони поширюються безкоштовно в мережі Інтернет [61] і мають достатню просторову роздільну здатність. На протязі більше 40 років, програма Landsat постійно здійснюється збір спектральної інформації з поверхні Землі. Цей унікальний архів даних дає вченим можливість оцінити зміни ландшафту Землі за тривалі проміжки часу. Програма Landsat створювалася спеціально для природно-ресурсного моніторингу. Перші три супутника Landsat -1, 2, 3 були оснащені телевізійними камерами RBV і мультиспектральним скануючим пристроєм MSS. Особливістю супутників Landsat 4, 5 є заміна телевізійної камери на оптико електронну камеру і модернізація сканера MSS. Камера дозволяє формувати зображення в семи ділянках електромагнітного спектру з просторовою роздільною здатністю (ПРЗ) 30 м у видимому та інфрачервоному діапазонах, 120 м в тепловому інфрачервоному (ІЧ) діапазоні, радіометрична здатність (РЗ) 8 біт, ширина смуги огляду 185 км.

Встановлена на супутнику Landsat-7 знімальна апаратура ETM + (вдосконалений тематичний картограф), забезпечує зйомку земної поверхні в

шести каналах з ПРЗ 30 м, в тепловому ІЧ каналі з ПРЗ 60 м і панхроматическую зйомку з ПРЗ 15 м. Ширина смуги огляду для всіх каналів становить близько 185 км. Періодичність зйомки 16 днів, РЗ 8 біт. В наш час, через збої в роботі апаратури, космічна зйомка із супутника на замовлення не ведеться. Однак великі накопичені архівні дані поширюються безкоштовно і можуть бути використані при вивченні динаміки земної поверхні.

Супутник Landsat 8 був запущений 11 лютого 2013 року. Landsat 8 несе в собі двохсенсорне корисне навантаження: мультиспектральний сканер OLI, створений корпорацією Ball Aerospace & Technologies, і тепловізійний інфрачервоний датчик (TIRS), побудований Центром космічних польотів NASD Goddard (GSFC). Обидва датчика пропонують технічні досягнення порівняно з більш ранніми приладами Landsat. Космічний апарат з двома вбудованими датчиками згадується як обсерваторія Landsat 8 (рис.8). Датчик OLI збирає дані зображення для дев'яти короткохвильових спектральних каналів на 190-кілометровій смузі огляду з ПРЗ 30 м для всіх каналів, окрім 15-метрової панхроматичного каналу. Найбільше зміна відбувається в OLI-каналі 5 (0,845-0,885 мкм), щоб виключити функцію поглинання водяної пара при 0,825 мкм в середині інфрачервоного діапазону камери ETM + (смуга 4, 0,775-0,900 мкм). Панхроматичний канал OLI також більш вузький відносно панхроматичного каналу ETM +, що створює більший контраст між рослинними областями і землею без рослинного покриву. OLI також має два нових канали в порівнянні з камерою ETM + Landsat 7 (1-5, 7 і Pan) для спостережень за океаном і для виявлення перистих хмар [62].

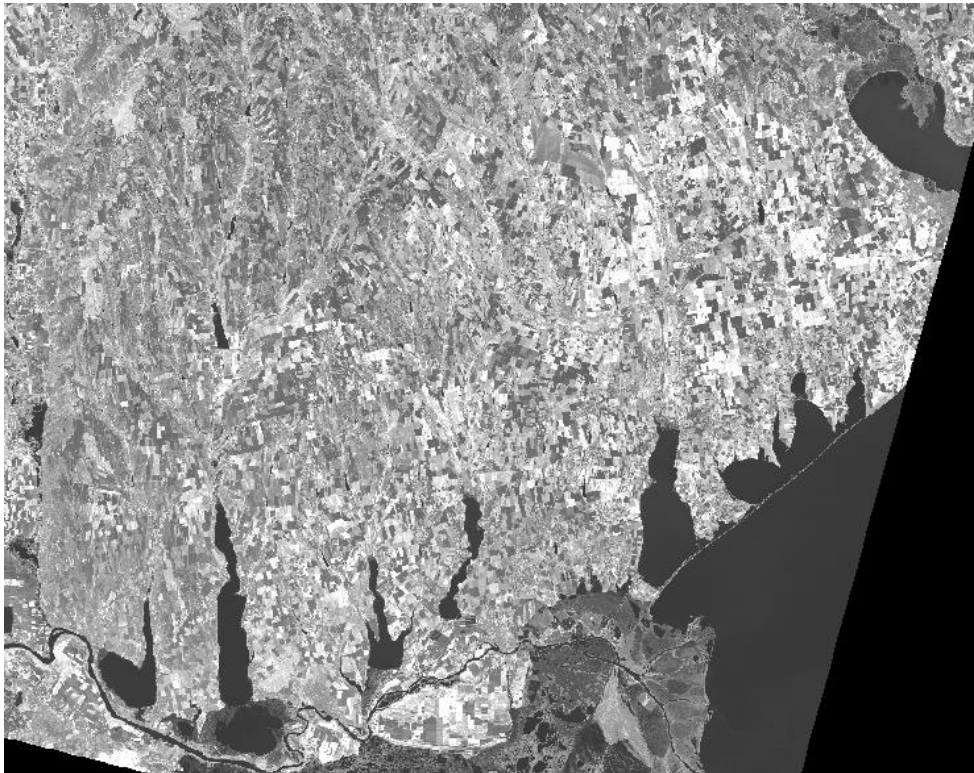


Рисунок 8 – Космічний знімок з супутника Landsat 8 півдня
Одеської області

Дані із супутників Landsat можна отримувати з кількох архівів з використанням різних інтернет-сервісів. Зображення в архівах геологічної служби США є унікальним найбільш повним ресурсом для дослідження глобальних змін і застосувань в області сільського господарства, картографії, геології, лісового господарства, регіонального планування, спостереження і освіти [62].

Виявлення характеристик земної поверхні реалізується за допомогою використання спеціального програмного забезпечення (ПО) по обробці супутникових знімків, найбільш відомі з яких – це ENVI і ERDAS IMAGINE. Робота в цих програмах часто сумісна з роботою в програмах ГІС, наприклад, ENVI має спеціальні опції, розраховані на роботу з ArcGIS. Однак, все комерційні ПО, – досить дорогі. Існує альтернативний вибір відкритого (безкоштовного) ПО, яке також дозволяє вести обробку супутникових знімків і сумісну роботу з ГІС (GRASS, QGIS, ін). Більш детально питання вибору

програмного забезпечення для обробки супутникових знімків розглядається в наступних розділах магістерської роботи.

2.2.2 Характеристика вегетаційних індексів

До ключових понять, що дозволяє зрозуміти принцип виявлення характеристик земної поверхні методами дистанційного зондування, відноситься графік спектральної кривої (або просто спектральна крива) об'єкта. Графік спектральної кривої показує відсоток відбитого і випущеного випромінювання для даного об'єкта на протязі всього електромагнітного спектра. Характер спектральної кривої обумовлений молекулярним складом і фізичними властивостями об'єкта. Дешифрування знімка і виявлення характеристик об'єктів земної поверхні базується на порівнянні вже відомих спектральних кривих (із зібраних "бібліотек спектральних кривих" різних типів об'єктів земної поверхні) із спектральними кривими кожного пікселя знімка.

Як видно з наведених прикладів (рис. 9), форма спектральних кривих різних об'єктів може мати відчутні відмінності, на цих відмінностях і заснований принцип розпізнавання об'єктів і виявлення їх характеристик за супутниковими знімками.

Характерною ознакою рослинності і її стану є спектральна відбивна здатність, що характеризується відмінностями у відображенні випромінювання різних довжин хвиль (рис.10). Знання про зв'язок структури і стану рослинності з її спектрально відбивними здібностями дозволяють використовувати космічні знімки для картографування та ідентифікації типів рослинності і їх стресового стану [63-66].

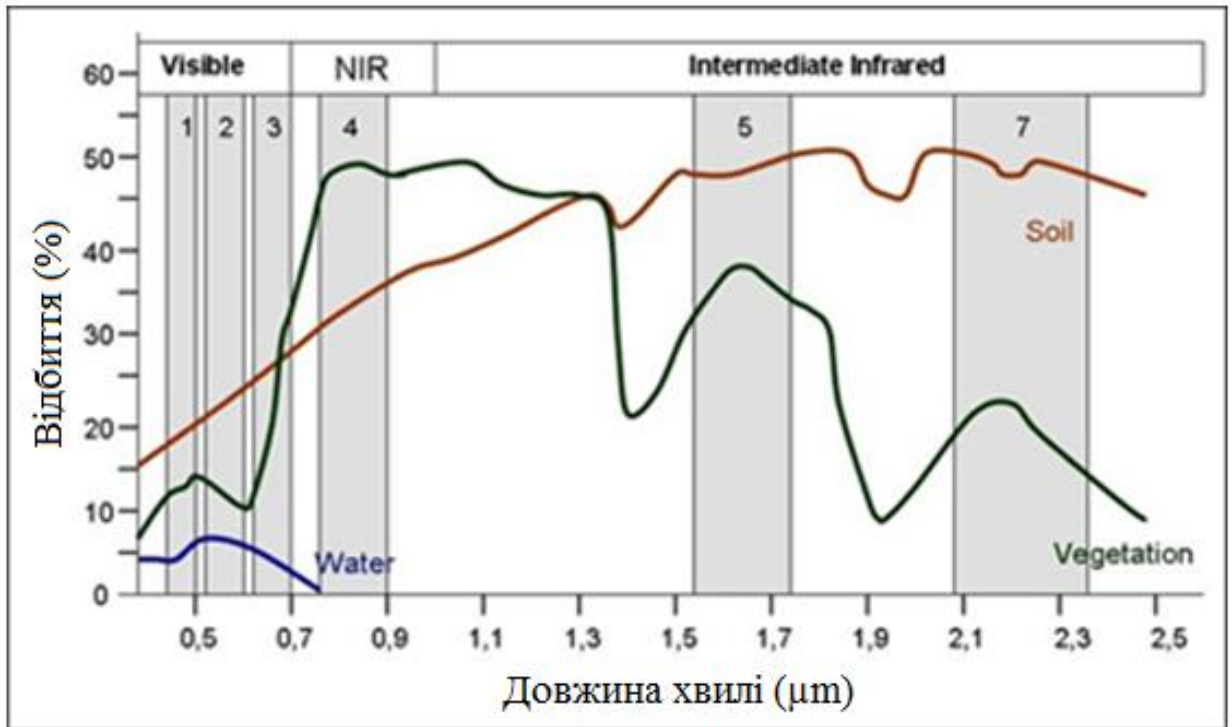


Рисунок 9 – Графіки спектральних кривих рослинності, ґрунту і води

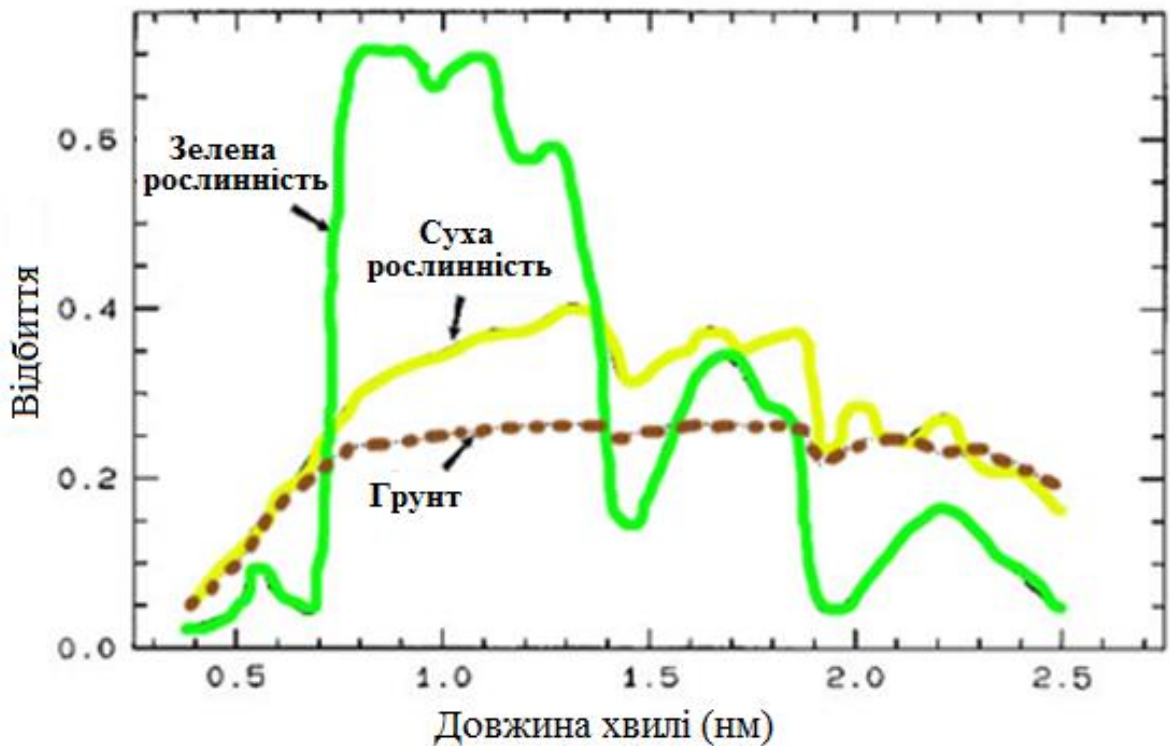


Рисунок 10 – Графіки спектральних кривих сухої рослинності, зеленої (здорової) рослинності і ґрунту

Для роботи зі спектральною інформацією часто вдаються до створення так званих «індексних» зображень. На основі комбінації значень яскравості в певних каналах, інформативних для виділення досліджуваного об'єкта, і розрахунку за цими значеннями «Спектрального індексу» об'єкта будується зображення, відповідне значенням індексу в кожному пікселі, що і дозволяє виділити досліджуваний об'єкт або оцінити його стан. Спектральні індекси, використовувані для вивчення і оцінки стану рослинності, отримали загальноприйнятту назву вегетаційних індексів.

Веgetаційний індекс (VI) – показник, що розраховується внаслідок операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) даних дистанційного зондування, і має відношення до параметрів рослинності в даному пікселі знімка.

Існує три найбільш поширених вегетаційних індексів:

1) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований відносний індекс рослинності, простий кількісний показник кількості фотосинтетичної активної біомаси (що зазвичай називається вегетаційним індексом). Один з найпоширеніших і використовуваних індексів для вирішення завдань, які застосовують кількісні оцінки рослинного покриву. NDVI помірно чутливий до змін ґрунтового і атмосферного фону, крім випадків з бідною рослинністю.

2) PVI (Perpendicular Vegetation Index) – дещо менш, але теж широко поширений. Має вузький динамічний діапазон і дуже чутливий до зміни атмосфери. Щодо простий у використанні і знаходженні ґрунтової лінії, що важливо для використання інших індексів. Найчастіше використовується на територіях з бідною рослинністю.

3) SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) – хороший варіант, якщо мета дослідження – розріджена рослинність [67].

Розрахунок NDVI [63–67] базується на двох найбільш стабільних (не залежних від інших чинників) ділянках спектральної кривої відображення судинних рослин. У видимій області спектру (0,4-0,7 мкм) лежить максимум

поглинання сонячної радіації хлорофілом вищих судинних рослин, а в інфрачервоній області (0,7-1,0 мкм) знаходиться область максимального відображення клітинних структур листа. Тобто висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з густою рослинністю) веде до меншого відображення у видимій області спектру і більшому в інфрачервоній. Відношення цих показників один до одного дозволяє чітко відділяти і аналізувати рослинні від інших природних об'єктів.

Індекс розраховується за такою формулою:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (2.1)$$

де *NIR* – відображення у ближній інфрачервоній області спектру; *Red* – відображення у видимій області спектру

Оцінюючи значення NDVI за наявними знімкам, можна з упевненістю говорити про структуру досліджуваної території і зміни в стані рослинного покриву [67].

NDVI може бути розрахований на основі будь-яких знімків високої, середньої або низької здатності, що мають спектральні канали в червоному (0,55-0,75 мкм) і інфрачервоному діапазоні (0,75-1,0 мкм). Алгоритм розрахунку NDVI вбудований практично в усі поширені пакети програмного забезпечення, пов'язані з обробкою даних дистанційного зондування (ArcMap, QGIS, ERDAS Imagine, ENVI, Ermapper, Scanex MODIS Processor, ScanView і ін.).

Комбінації каналів камер супутників, які використовуються для розрахунку NDVI наведені в табл.4.

З часу розробки алгоритму для розрахунку NDVI [63] у нього з'явилося досить багато модифікацій призначених для зменшення впливу різних перешкод. Таких, наприклад, як поглинання аерозолями атмосфери (atmospheric – resistant vegetation index – ARVI) і ін.

Таблиця 2 – Комбінації каналів камер супутників для розрахунку NDVI

Супутник	Комбінації каналів
MSS Landsat(4,5)	5 (0.6-0.7 мкм), 6 (0.7-0.8 мкм) або 7 (0.8-1.1 мкм)
TM Landsat(4,5)	3 (0.63-0.69 мкм), 4 (0.76-0.90 мкм)
ETM+ Landsat7	3 (0.63-0.69 мкм), 4 (0.75-0.90 мкм)
AVHRR NOAA	1 (0.58-0.68 мкм), 2 (0.72-1.0 мкм)
MODIS Terra(Aqua)	1 (0.62-0.67 мкм), 2 (0.841-0.876 мкм)
ASTER Terra	2 (0.63-0.69 мкм), 3 (0.76-0.86 мкм)
LISS IRS(1C/1D)	2 (0.62-0.68 мкм), 3 (0.77-0.86 мкм)

Для розрахунку цих індексів використовуються формули, що враховують відносини між відбивною здатністю різних природних об'єктів і рослинністю в інших діапазонах, крім червоного і інфрачервоного, що робить їх більш складними в застосуванні. Існують також індекси, засновані на NDVI, але що коригують відразу кілька факторів, як, наприклад EVI (Enhanced vegetation index).

Для відображення індексу NDVI використовується стандартизована безперервна градієнтна або дискретна шкала, що показує значення в діапазоні від -1..1 в % (рис.11) або в так званій масштабованій шкалі в діапазоні від 0 до 255 (використовується для відображення в деяких пакетах обробки ДЗЗ, відповідає кількості градацій сірого), або в діапазоні 0..200 (-100..100), що більш зручно, так як кожна одиниця відповідає 1% зміни показника. Завдяки особливості відображення в NIR -RED областях спектра, природні об'єкти, не пов'язані з рослинністю, мають фіксоване значення NDVI, що дозволяє використовувати цей параметр для їх ідентифікації (табл.3).



Рисунок 11 – Дискретна шкала NDVI

Таблиця 3 – Значення NDVI для різних типів об'єктів

Тип об'єкту	Відбиття в червоній області спектру	Відбиття в інфрачервоній області спектру	Значення NDVI
Густа рослинність	0.1	0.5	0.7
Розряджена рослинність	0.1	0.3	0.5
Відкритий ґрунт	0.25	0.3	0.025
Хмари	0.25	0.25	0
Сніг і льод	0.375	0.35	-0.05
Вода	0.02	0.01	-0.25
Штучні матеріали (бетон, асфальт)	0.3	0.1	-0.5

Але, як правило, для завдань пов'язаних з картографуванням рослинності використовують немасштабовану шкалу, що починається з 0 (значення NDVI менше 0 рослинність приймати не може). Для перекладу з шкали -1..1 в 0..200 (масштабування) використовується наступна формула: $100 \cdot (\text{NDVI} + 1)$.

Найчастіше, розрахунок NDVI вживається на основі серії різночасових (різносезонних) знімків із заданою часовою здатністю, дозволяючи отримувати динамічну картину процесів зміни кордонів і характеристик різних типів рослинності (місячні варіації, сезонні варіації, річні варіації). Завдяки всім цим особливостям, карти NDVI часто використовуються як один з проміжних додаткових шарів для проведення більш складних типів аналізу. Результатами яких можуть бути карти продуктивності лісів і сільськогосподарських земель, карти типів ландшафтів, рослинності і природних зон, ґрунтові та інші еколого-кліматичні карти. Так само, на його основі можливе отримання численних даних для використання в розрахунках оцінки і прогнозування врожайності і продуктивності, біологічного різноманіття, ступеня порушення і збитку від різних природних і антропогенних лих, аварій та ін.

Головні недоліки використання NDVI:

- неможливість використання даних, які не пройшли етап радіометричної корекції (калібрування);
- похибки, що вносяться погодними умовами, сильною хмарністю і серпанком;
- необхідність для більшості завдань порівняння отриманих результатів з попередньо зібраними даними тестових ділянок (еталонів), в яких повинні враховуватися сезонні еколого-кліматичні показники, як самого знімка, так і тестових майданчиків на момент збору даних;
- можливість використання зйомки тільки пори року вегетації для досліджуваного регіону.

2.2.3 Обробка космічних знімків

2.2.3.1 Попередня обробка знімків

Перед основною обробкою отриманий знімок необхідно провести через етап попередньої обробки, який полягає в проведенні геометричної, радіометричної та атмосферної корекцій.

Геометрична корекція усуває геометричні спотворення, пов'язані з тим, що знімок поверхні Землі апаратом, спрямованим точно вниз, містить неспотворену картинку тільки в центрі знімка, при зміщенні до країв відстані між точками на знімку і відповідні відстані на Землі все більш різняться. виправлення таких спотворень проводиться в процесі фотограмметрії.

Радіометрична корекція включає в себе два види корекцій:

- 1) Радіометрична корекція спотворень, що виникають з вини оптики сенсора.
- 2) Радіометрична корекція спотворень, що виникають внаслідок кута падіння сонячних променів і форм рельєфу (усунення дефектів сонячних плям і тіней).

Атмосферна корекція – усуває різні спотворення, внесені наявністю атмосфери.

Калібрувальні коефіцієнти, необхідні для проведення корекцій, поставляються разом з вихідним пакетом знімка, що завантажується.

Механізм проведення корекцій досить складні. Однак, існує можливість не займатися корекцією і навіть основною обробкою знімків самостійно, а скористатися готовими "вторинними" знімками, якщо вони поставляються для обраного сенсора і якість їх даних підходить для вирішуваних завдань.

Продукція сенсорів надходить до кінцевого споживача в двох формах:

1) Вихідний оригінал знімка з усіма сценами спектральних каналів (стільки файлів зі сценами, скільки спектральних каналів має сенсор). По табл.4 це рівні Level0 (вихідний варіант знімка) і Level1 (цей же вихідний варіант з доданими, але не застосованими коефіцієнтами корекцій);

Таблиця 4 – Рівні обробки даних ДЗЗ (за системою NASA)

Рівень	Опис
Level 0	Реконструйовані необроблені дані сенсора повної здатності без службових даних (синхронізаційні фрейми, заголовки, повтори)
Level 1A	Реконструйовані необроблені дані сенсора повної здатності, прив'язані за часом, забезпечені радіометричними і геометричними калібрувальними коефіцієнтами і параметрами географічної прив'язки (додані до цього рівня необхідні для проведення корекцій калібрувальні коефіцієнти обчислені за даними Level 0, але не застосовані на цьому рівні)
Level 1B	Дані рівня Level 1A, перетворені в одиниці виміру сенсора (не всі знімки входять до комплекту поставки з цим рівнем обробки)
Level 2	Похідні геофізичні змінні (висота океанічних хвиль, вологість ґрунту, концентрація льоду) з тієї ж роздільною здатністю, як у даних рівня Level 1
Level 3	Змінні, відображені в універсальній просторово-часовій шкалі, можливо доповнені інтерполяцією.

Рівень	Опис
Level 4	Дані, отримані в результаті розрахунків на основі попередніх рівнів. Фінальна модель або результат аналізу попередніх рівнів обробки (змінні, отримані в результаті багатьох вимірів).

2) Похідні продукти – оброблений операторами знімок за чітко визначеним алгоритмом для виявлення певних характеристик. Це рівні Level2, Level3, Level4 за табл.4.

Похідні продукти не вимагають ніякої спеціальної обробки від кінцевого користувача, їх можна завантажувати і відразу використовувати для аналізу даних, які вони представляють. Для виконання дослідження будемо використовувати космічні знімки Landsat 8 Level2 не виконуючи спеціальної попередньої обробки.

2.2.3.2 Класифікація знімків

Дешифрування – це процес виявлення і розпізнавання об'єктів і явищ місцевості на знімку. Воно може бути як ручним, тобто базуватися на візуальній (людський) оцінці зображення, так і машинним (автоматичним). Машинна обробка зводиться до різних механізмів класифікації. Для початку потрібно представити всі пікселі (їх спектральні яскравості) як вектора в просторі спектральних ознак. При аналізі кількісних зв'язків спектральних яскравостей різних об'єктів відбувається поділ пікселів за класами. Класифікація знімків поділяється на класифікацію з навчанням і класифікацію без навчання.

2.2.3.2.1 Класифікація контрольована (з навчанням)

Класифікація з навчанням передбачає наявність еталона, з яскравістю якого порівнюється яскравість кожного пікселя. В результаті, маючи кілька

еталонів, заздалегідь заданих, отримуємо множину об'єктів, розділених на класи. Ця класифікація працює тільки в разі, якщо відомі заздалегідь ті об'єкти, які відображені на знімку, класи чітко помітні і їх кількість невелика.

Розглянемо деякі з методів, які можуть використовуватися в класифікації з навчанням.

Метод мінімальної відстані – значення яскравості пікселів розглядаються як вектора в просторі спектральних ознак. Між цими значеннями і значеннями векторів еталонних ділянок вираховується спектральна відстань, як корінь з суми квадратів різниці векторів пікселя і еталона (простіше кажучи, евклідова відстань між ними). Всі пікселі розподіляються за класами залежно від того, перевищує відстань між ними і еталоном задану чи ні. Так, якщо відстань менше, то клас визначений, піксель можна віднести до ідеалу (рис.12).

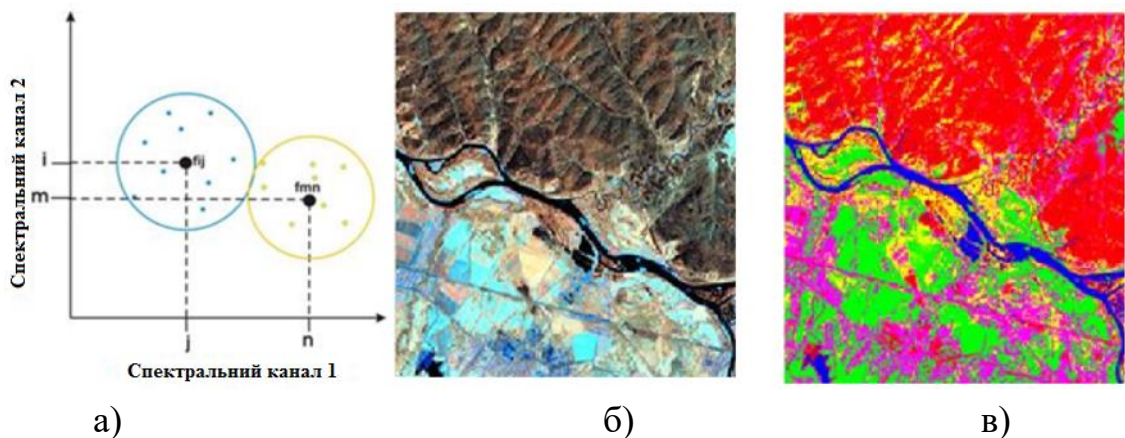


Рисунок 12 – Класифікація методом мінімальної відстані:

а) – графічне представлення методу; б) – вихідний знімок Landsat;

в) – результат класифікації

Метод дистанції Махаланобіса – дуже схожий на перший спосіб, тільки при класифікації вимірюється не евклідова відстань між векторами, а відстань Махаланобіса, яке враховує дисперсію значень яскравості еталона. У цьому

способі, якщо евклідова відстань до двох еталонів від даного пікселя дорівнює, то перевагу отримає той клас, дисперсія еталонної вибірки якого більше.

Метод спектрального кута – спочатку задається максимальне значення спектрального кута (кута між вектором-еталоном і вектором даного пікселя). Знаходиться спектральний кут, і, як з евклідовою відстанню, якщо кут менше заданого, то піксель потрапляє в клас еталона, з яким йде порівняння (рис.13).

Розглянуті метод є параметричними. До непараметричних методів можна віднести метод паралелепіпеда, який реалізується шляхом завдання кордонів для значень спектральної яскравості для кожного класу. Межі паралелепіпеда для кожного класу можуть бути визначені мінімальним і максимальним значеннями матриці в даному класі або, альтернативно, певним числом стандартних відхилень по обидва боки від середнього значення класу, визначеного на основі навчальної вибірки.

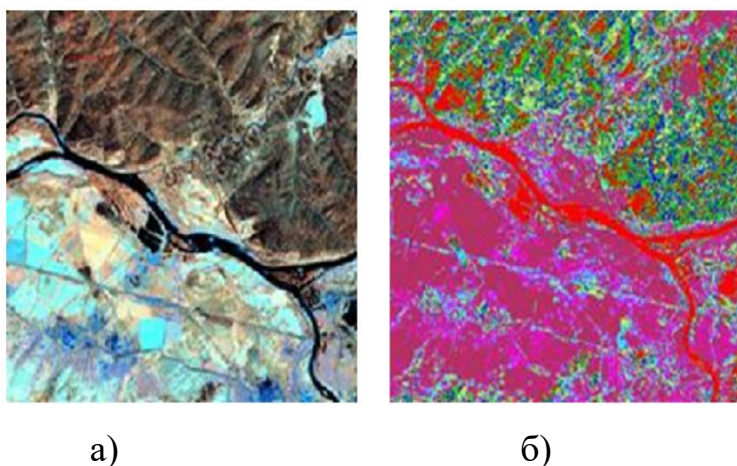


Рисунок 13 – Класифікація методом ISODATA: а) – вихідний знімок Landsat; б) – результат класифікації

Правило рішення – перевірити, чи знаходиться точка, яка представляє піксель в просторі ознак, усередині кожного з паралелепіпеда. Метод паралелепіпеда виконується швидко і легко, але можуть виникати помилки, особливо коли піксель лежить всередині більш ніж одного паралелепіпеда або

поза всіма паралелепіпедів. Ці дві ситуації, очевидно, можуть виникнути, тому що в просторі розподіл векторів шаблонів часто досить складно [70].

У даній роботі метод паралелепіпеда використаний для класифікації територій по щільності рослинності на основі значень NDVI шляхом завдання відомих значень меж паралелепіпедів на основі прийнятої для України класифікації (відсутність рослинності (-1-0), середня рослинність (0-0,15), рослинність середньої щільності (0,15-0,3), щільна рослинність (0,3-0,45), дуже щільна рослинність (0,45-0,6), рослинність з високою щільністю (0,6-1)).

2.2.3.2.2 Класифікація неконтрольована (без навчання)

Класифікація без навчання побудована на повністю автоматичному розподілі пікселів за класами на основі статистики розподілу значень яскравості пікселів. Даний вид класифікації використовується, якщо спочатку невідомо, скільки об'єктів присутні на знімку, кількість об'єктів велика, в результаті машина сама видає отримані класи, а ми вже визначаємо, яким об'єктам їх поставити у відповідність.

Метод ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm) заснований на кластерному аналізі з використанням методу послідовних наближень (рис.13).

Після розгляду яркостей пікселів, як векторів в просторі спектральних ознак, найближчі визначаються в один клас. Для кожної спектральної зони йде розрахунок статистичних параметрів розподілу яркостей. Всі пікселі діляться на деяке n число рівних діапазонів, всередині кожного з яких знаходиться середнє значення. Для кожного пікселя діапазону розраховується спектральна відстань до середнього значення. Всі пікселі, відстань між якими найменша визначаються в один кластер. Так проходить перша ітерація. При другій ітерації і наступних йде розрахунок вже реальних середніх значень для кожного кластера. Кожна нова ітерація уточнює кордон майбутніх класів.

Метод К-середніх – схожий на попередній метод, за тим лише винятком, що початкові середні значення задаються (це можливо тільки, якщо об'єкти на знімку добре зчитуються).

2.2.4 Характеристика алгоритму проведення аналізу даних

Алгоритм проведення аналізу даних наведено на рис. 14.

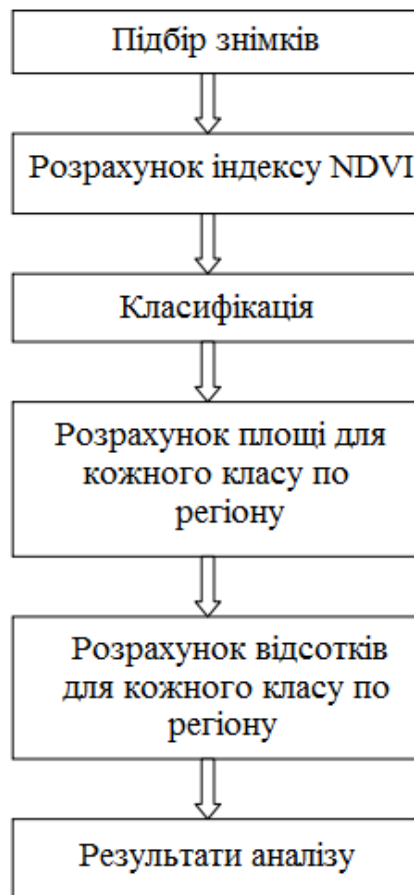


Рисунок 14 – Алгоритм проведення аналізу

Для кожного знімка проводиться обчислення значень NDVI з одночасною попередньою обробкою даних по перерахунку значень DN в значення спектральної яскравості. Потім проводиться класифікація з навчанням отриманих карт NDVI методом паралелепіпеда. Для цього

задаються значення кордонів паралелепіпедів відповідно до класифікації щільності рослинності (навчальні вибірки).

Після класифікації розраховуються площі для кожного класу в кв. км і будуються графіки, що показують зміну площ класів в часі (по роках і за вегетаційний період) і діаграми, що показують процентне співвідношення класів по в кожному регіону. Проводиться аналіз отриманих даних.

2.2.5 Опис використаних програмних засобів

В роботі була використана геоінформаційна система QGIS, яка поширюється під GNU General Public License v2. Будучи ПО з відкритим вихідним кодом, QGIS надає користувачеві наступні рівні свободи:

- використовувати QGIS для будь-яких власних цілей;
- вивчати принципи її роботи і модифікувати;
- вільно поширювати копії;
- удосконалювати і публікувати похідні продукти як загальнодоступні.

Робота над QGIS була розпочата в травні 2002 р, а в 2007 р вона стала проектом Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) – міжнародної некомерційної організації, створеної для підтримки спільної розробки і використання геоінформаційного ПЗ з відкритим вихідним кодом. Основні функціональні можливості QGIS наведені в табл. 5.

На сьогоднішній день це одна з функціональних настільних ГІС, що найбільш динамічно розвиваються, основними перевагами якої є:

- безкоштовне розповсюдження;
- свобода – завдяки відкритості вихідного коду, користувачі не тільки можуть вивчати особливості пристрою QGIS, але і модифікувати її відповідно до власних потреб;
- динамічний розвиток – розробка QGIS ведеться міжнародною групою розробників, яка з 2014 р перейшла на 4-місячний цикл релізів. Таким чином, нова версія виходить 3 рази в рік;

– велика документація – для рядових користувачів є Керівництво користувача, для розробників;

інтероперабельність – гнучкість у взаємодії з різними апаратними базами, операційними системами та програмним забезпеченням, способами уявлення геоданих і їх просторовими характеристиками. Завдяки цих комплексних властивостей QGIS може: бути встановлена для Windows, Mac OS X, Linux, BSD, Android; підтримувати різні формати і моделі даних, а саме: більше 60 форматів растрових даних (бібліотека Geospatial Data Abstraction Library – GDAL), більш 20 векторних (OGR Simple Features Library), взаємодія з базами геоданих, OGC-сервісами; взаємодіяти з даними в різних проекціях і системах координат.

Таблиця 5 – Основні функціональні можливості QGIS

Функція	Опис
Створення геоданих	Просторова прив'язка зображень (геокодування); створення і редагування векторних (shape) файлів, в т.ч. з підтримкою топології; створення і редагування атрибутивних даних; інструменти для імпорту і експорту даних GPS; створення і редагування таблиць просторових баз даних; вивантаження і редагування даних OpenStreetMap.
Управління геоданими	Підтримка стандартних проекцій (більше 2 700), а також параметрів переходу між різними системами координат; створення призначених для користувача проекцій; перевірка топології; перегляд / пошук атрибутів (SQL-запити); визначення / вибірка об'єктів (SQL-запити).
Аналіз геоданих	Функції геообробки: буферні зони, відсікання, об'єднання та ін.; просторові запити; калькулятор полів атрибутів; калькулятор растрів; морфометричний аналіз; найбільш широкі можливості аналізу геоданих надає фреймворк геообробки QGIS, а саме – доступ до більш ніж 500 алгоритмів інших відкритих ГІС (зокрема, GRASS, SAGA, Orfeo Toolbox), призначених для користувача скриптів. Крім того, він дозволяє автоматизувати

Функція	Опис
	процеси завдяки можливостям пакетної геообробки і створення моделей аналізу.
Представлення геоданих	Зміна символіки векторних і растрових шарів; підписування об'єктів; компоновщик карт для створення карт і атласів; публікація карт в Інтернет.

2.3 Опис етапів моделювання та результатів дослідження

2.3.1 Опис вихідних даних дослідження

2.3.1.1 Джерела даних ДЗЗ

2.3.1.1.1 Опис бази геоданих EarthExplorer (USGS)

Одним з основних джерел матеріалів ДЗЗ, в тому числі і безкоштовних, є архів Геологічної служби (ГС) США (USGS [70]). Доступ до нього можливий як для простого перегляду каталогу, так і для безпосереднього отримання збережених в ньому матеріалів. Подивитися каталог і зменшену версію (preview) збережених в архіві ГС США матеріалів можна на сайті EarthExplorer (рис. 15).

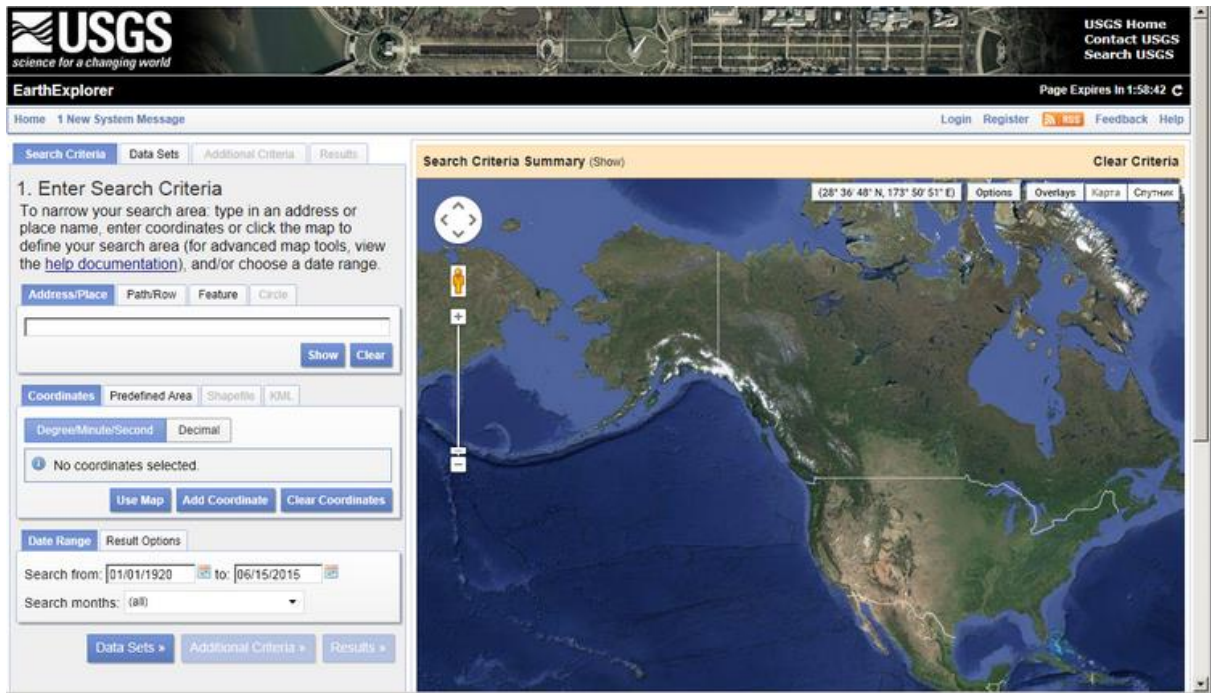


Рисунок 15 – Головна сторінка сайту EarthExplorer

Якщо відома сцена Landsat, знімка для якої треба отримати дані, то вказівка її номера в системі WRS-2 – найшвидший спосіб обмежити просторові рамки області інтересу. На вкладці Search Criteria є кнопка Path / Row, яка дозволяє ввести номер витка (path) і рядка (row) сцени, що інтересує. Якщо її натиснути, то з'являться кілька елементів інтерфейсу, в тому числі список Type (тип), що надає вибору з двох варіантів: WRS-1 і WRS-2. За замовчуванням вибирається 2-й. Якщо це не так, то треба встановити WRS-2. Після вводу номер витка і рядка сцени, відповідної південь і після натискання на кнопку Show в панелі Coordinates (Координати) з'явиться рядок з географічними координатами точки, що є центром зазначеної сцени. Користуючись тільки картою Google, можна задати область інтересу у вигляді полігону довільної форми. Для цього треба встановити опцію карти в значення Polygon (Полігон). Потім просто виконати клацання мишею в тих місцях карти, де повинні розташовуватися вузли полігону. Для прикладу обведемо полігоном по периметру кордон Одеської області (рис. 16).

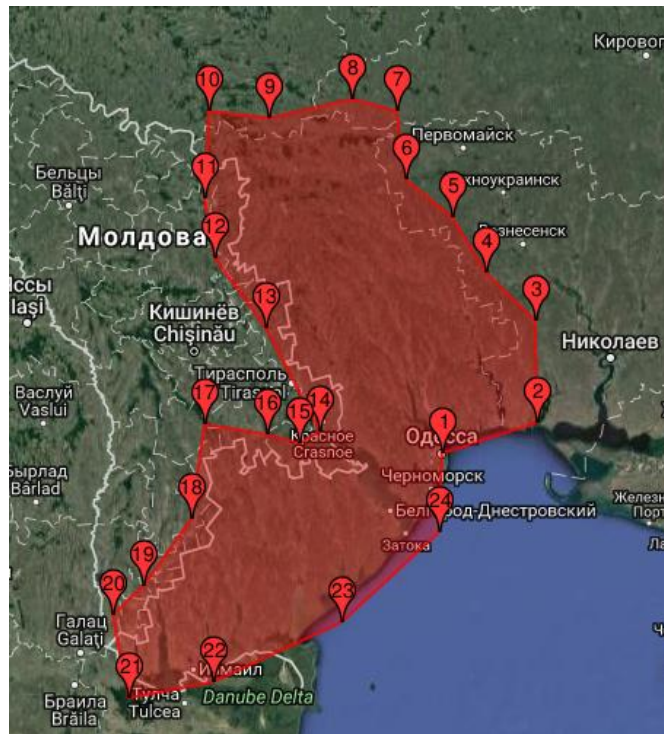


Рисунок 16 – Результат завдання області інтересу у вигляді полігону

Для пошуку у просторовій базі даних знімків потрібно вказати діапазон часу за який буде відбуватися пошук даних і обрати джерело їх надходження (знімки якого супутника треба шукати).

Після установки параметра межі хмарного покриття для кожного джерела даних можна перейти до перегляду результатів пошуку за всіма заданими критеріям. Для цього треба переключитися на вкладку Results (Результати). Також як і при установці додаткових параметрів, перегляд результатів проводиться окремо для кожного джерела даних. Знайдені записи представлені у вигляді списку, розділеного на кілька сторінок по 10 записів на кожній (рис.17).



Рисунок 17 – Список результатів пошуку

Для Одеської області є в наявності знімки в архіві Landsat, з супутників Landsat 5, 7 і 8 за 2011, 2013 роки і по теперішній час. Знімки рівня L2 присутні також, але нажаль у меншому часовому діапазоні.

Є зручна можливість – подивитися яку територію на місцевості покриває та чи інша сцена, одночасно побачивши її зображення. Для цього можна, включивши для цієї сцени кнопку Show Browse Overlay, побачити її в проекції, накладену на карту (рис. 18).

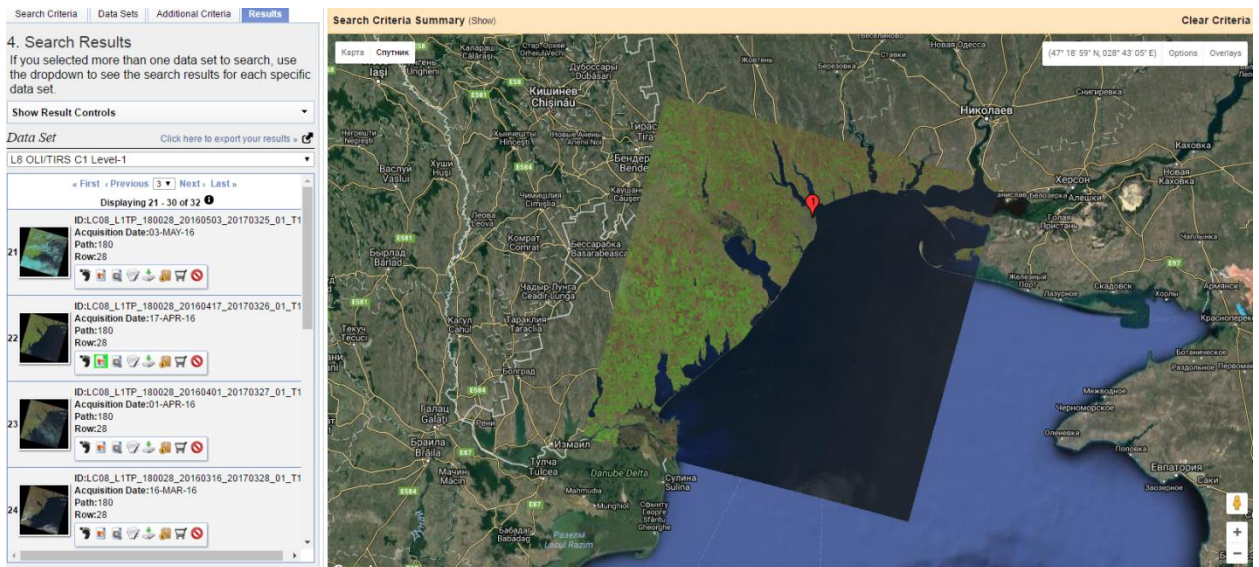


Рисунок 18 – Накладення обраної сцени на карту Google

2.3.1.1.2 Основні характеристики геосервісу Libra

Більш демократичний, простий і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для скачування космознімків Landsat в порівнянні з сервісом USGS надає платформа Libra – проект компанії Development Seed [71]. Сервіс заснований на движку скачування космознімків від компанії Google, а опис метаданих для пошуку взяті з сервісу USGS. Інтерфейс сервісу Libra наведений на рис.19.

На панелі сервісу необхідно задати потрібний інтервал дат, в якому проводилася зйомка і праворуч відобразяться доступні для скачки сцени. Додатково можна задати показник хмарності.

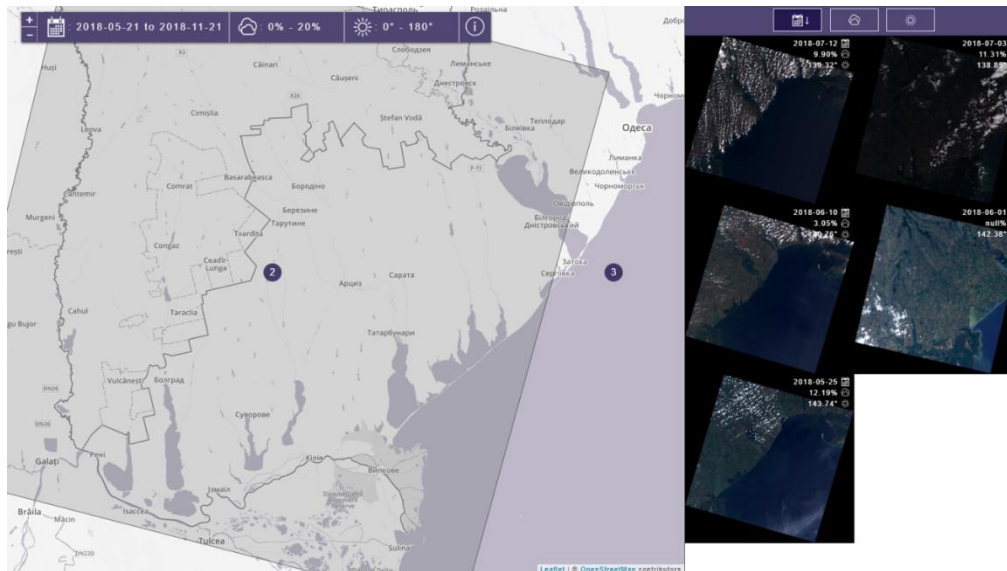


Рисунок 19 – Інтерфейс геосервісу Libra

Завантажувати знімки можна в двох режимах – пакетному (Bundle) і поканально. Закачування по окремих каналах доступно тільки для зйомок 2015 року. Запакована архіватором tar + bzip2 сцена в пакетному режимі має розмір приблизно 800 Мб.

Відмінністю сервісу є наявність меню NDVI внизу форми (рис.20), за яким програма сама виділить потрібні канали для аналізу розвитку рослинності за індексом NDVI.

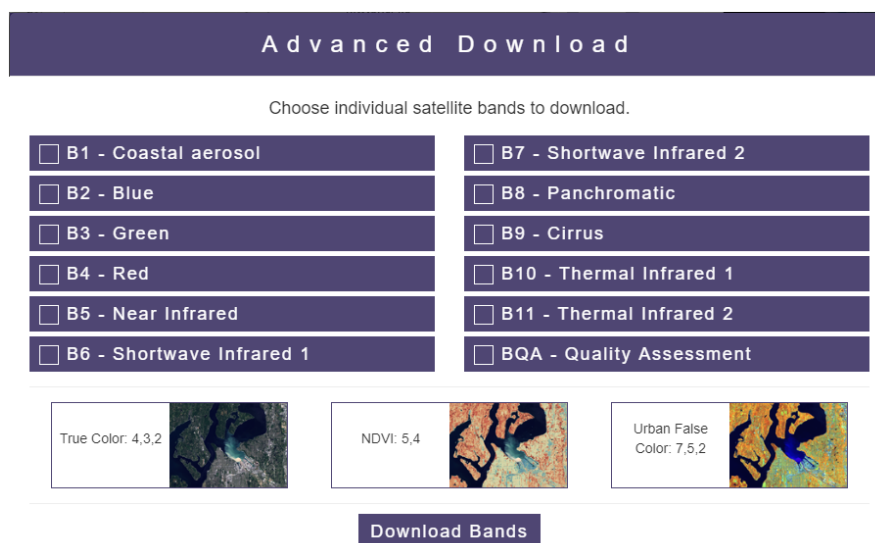


Рисунок 20 – Перелік каналів знімку Landsat

2.3.1.2 Опис космознімків, що використані у дослідженні

В таблиці 6 наведено опис використаних в роботі знімків, що покривають південь Одеської області: райони Ізмаїльський, Ренійський, Болградський, Кілійський.

Таблиця 6 – Опис знімків Landsat , що були використані в роботі

Характеристики знімків	Супутник	Дата зйомки
Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-2	Landsat_8	2018.04.30
	Landsat_8	2018.06.01
	Landsat_8	2018.07.03
	Landsat_8	2018.08.06
	Landsat_8	2018.08.20
	Landsat_8	2018.09.21
Landsat 7 ETM+C1 Level-2	Landsat_7	2017.04.11
	Landsat_7	2017.04.27
	Landsat_7	2017.05.13
	Landsat_7	2017.05.29
	Landsat_7	2017.06.30
	Landsat_7	2017.08.01
	Landsat_7	2017.08.17
	Landsat_7	2017.09.02
	Landsat_7	2017.09.18
	Landsat_7	2016.04.24
	Landsat_7	2016.06.11
	Landsat_7	2016.06.27
	Landsat_7	2016.07.13
	Landsat_7	2016.07.29
	Landsat_7	2016.08.14
	Landsat_7	2016.09.15
	Landsat_7	2016.10.01
	Landsat_7	2015.05.08
	Landsat_7	2015.05.24
	Landsat_7	2015.06.09
	Landsat_7	2015.07.11
	Landsat_7	2015.07.27
Landsat_7	2015.08.28	
Landsat 4-5 TM C1 Level-2	Landsat_5	2011.04.27
	Landsat_5	2011.05.13
	Landsat_5	2011.05.29
	Landsat_5	2011.07.16
	Landsat_5	2011.08.01

Аналіз проводився по знімках різних років зйомки, отриманим в близькі дати, а також по знімках 2018 р за вегетаційний період з квітня по жовтень. Нажаль не всі існуючі у базі знімки мають високі якісні характеристики. Деякі з них отримані при високій хмарності, що робить їх не придатними для розрахунку індексу вегетації. Нами були отобрані тільки знімки, що мають не високий відсоток шуму.

Сцену можна скачати у вигляді архіву, якщо розпакувати архів, то можна виявити в ньому геоприв'язані зображення сцени у різних каналах у форматі tiff (рис.21) які і будемо обробляти.

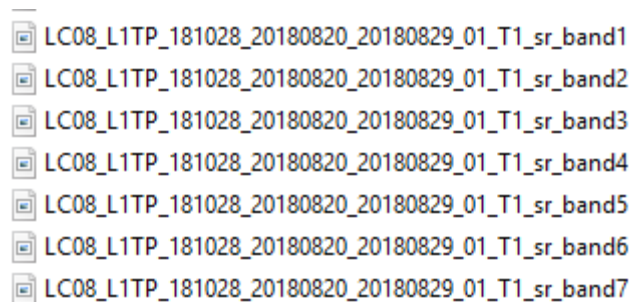


Рисунок 21 – Вигляд пакетного архіву знімку Landsat

За космічними знімками, після їх попередньої обробки, будуть побудовані карти NDVI, проведена їх класифікація за щільністю рослинності відповідно до заданої шкалою і проведено аналіз даних.

2.3.2 Дешифрування знімків ДЗЗ

Виявлення наявності різного типу рослинності способом дистанційних спостережень здійснюється шляхом дешифрування знімків ДЗЗ, розпізнавання ділянок з рослинністю.

Рослинним дешифруванням знімків називається процес розпізнавання зображених на них різних рослинних об'єктів (лісів, сільськогосподарських

угідь, пустошей, боліт і плавнів, місць з відсутністю рослинності і встановлення їх кількісних і якісних характеристик. Дешифрування може бути візуальним (окомірним, аналітичним), вимірювальним, автоматичним (машинним), а також комплексним – аналітико-вимірювальним або автоматизованим (інтерактивним, людино-машинним).

На рис.22 представлена діаграма діяльності методики дешифрування ділянок рослинності.

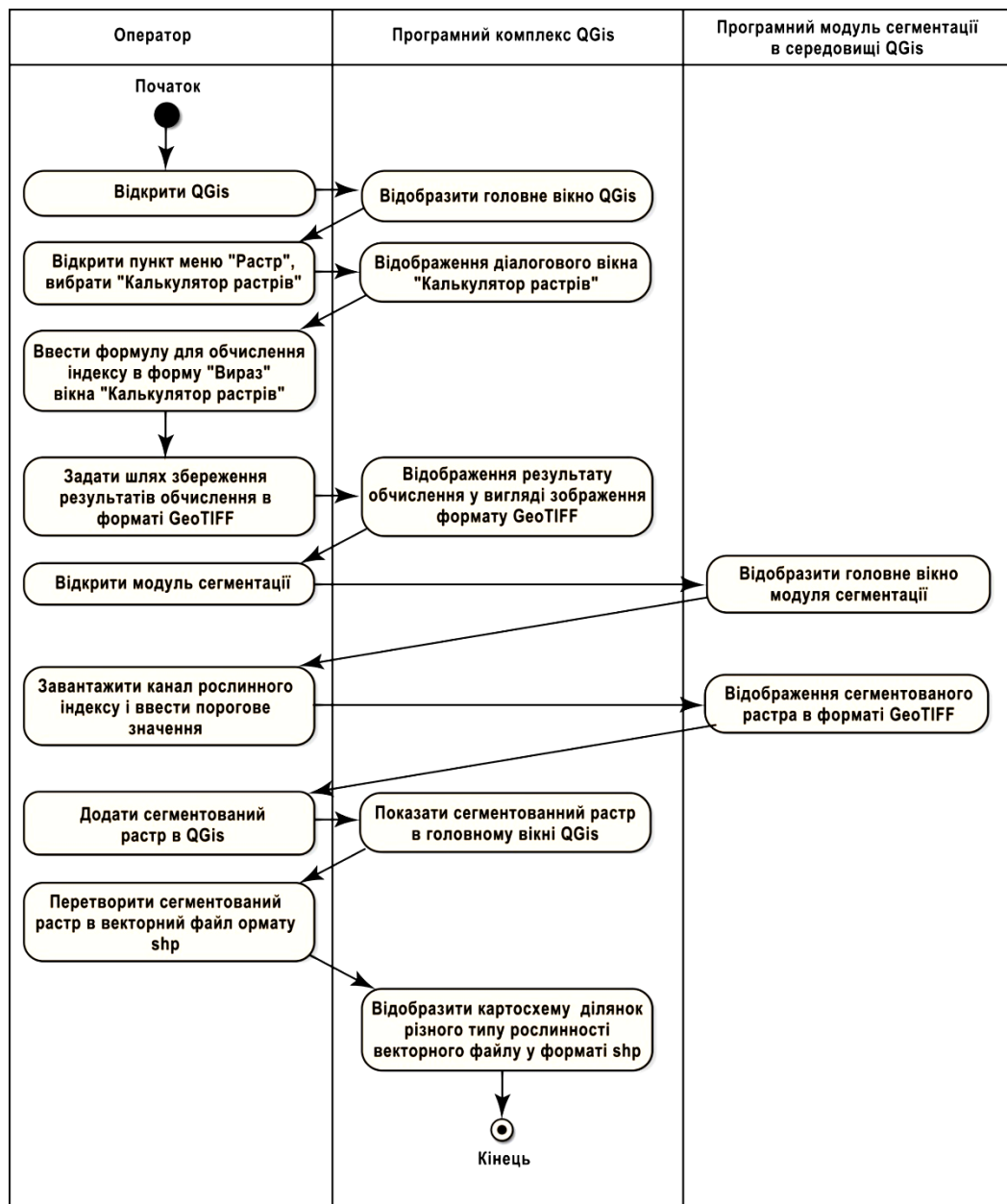


Рисунок 22 – Методика дешифрування ділянок рослинності

На першому етапі дешифрування знімка необхідно розрахувати вегетаційні індекси, знайти діапазони лісу і рослинності. На другому етапі: в програмному модулі застосувати метод сегментації до перетворених знімків, з урахуванням розрахованих діапазонів, потім провести векторизацію і обчислити точність визначення об'єктів рослинності, створити картосхему.

2.3.2.1 Створення композиту каналів космозйомки

Для розрахунку багатоспектрального індексу обрана вільно поширювана геоінформаційна система QGIS. Для визначення вегетаційного індексу необхідно виконати обчислення в QGIS, а для цього завантажити знімок Landsat в форматі TIFF, тобто зображення сцени у різних каналах (23).

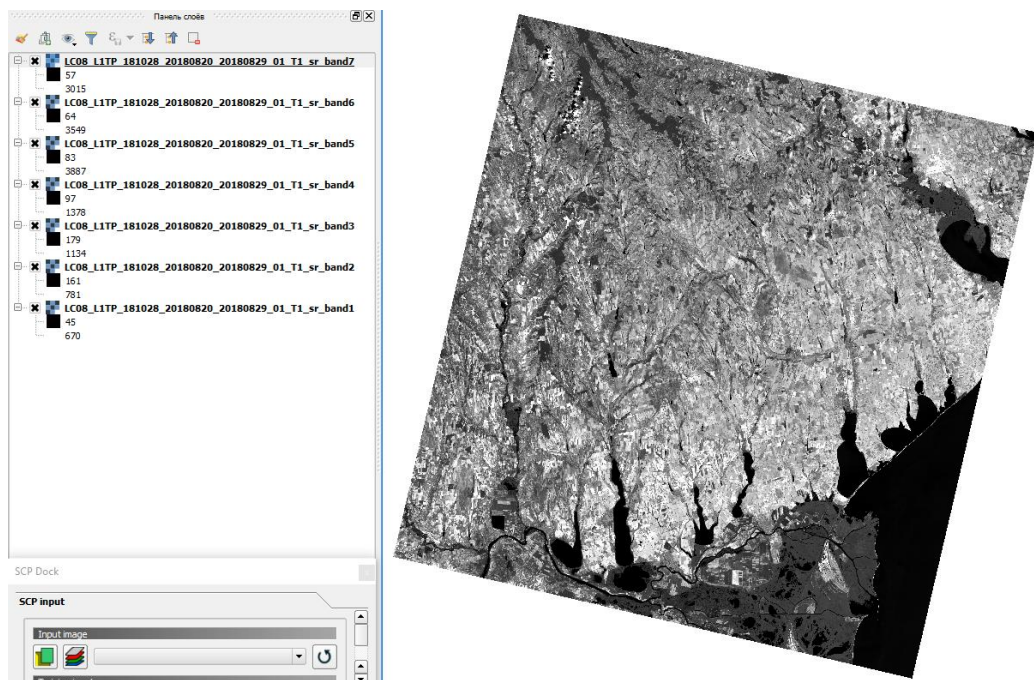


Рисунок 23 – Знімок супутника Landsat

Канали знімків від сенсорів Landsat можна змішувати в будь-яких поєднаннях. Все залежить від того, які завдання аналізу стоять перед дослідником. На допомогу може прийти досвід фахівців з обробки ДЗЗ.

Наприклад, найбільш природну (з точки зору побутового, недосвідченого сприйняття) кольорову картинку з космосу можна отримати, поєднавши канали 3-2-1, або 4-3-2 для Landsat 8 (послідовність має значення). Приклад такого зображення для Вілково, наведений на рис.24 (а). Але для фахівців з дешифрування космознімків таке зображення не є змістовним з точки зору вилучення вичерпної інформації. Набагато частіше використовується поєднання каналів 4-3-2. Приклад такого зображення представлений на рис.24.

Наведена вище комбінація каналів 4-3-2 володіє набагато більшою інформативністю і точністю для задач диференціації рослинного покриву і заселених (сельбищних) територій. Щільний червоно-рожевий колір є показником насиченості хлорофілу (рослинності), а холодні блакитні тони відповідають за міську забудову. Для гідрогеологів і гідрографів безсумнівно вдалим буде поєднання каналів 7-4-2, що дозволяє контрастно відтінити поверхні водойм. Поєднання 5-3-1 буде корисно при оновленні топографічних карт, добре видно дороги, межі полів, території міської забудови та інша картографічна структура.



а



б

Рисунок 24 – Композиту каналів космозйомки:

а) – поєднання каналів 3-2-1; б) – поєднання каналів 4-3-2

2.3.2.2 Розрахунок вегетаційних індексів

Розрахунок індексу NDVI можна виконати у QGIS, використовуючи калькулятор растрів, який знаходиться у вкладці меню «Растр». Для розрахунку індексу необхідно використовувати канали NIR і RED, у супутника Landsat це 4-й і 3-й канали відповідно, (у супутника Landsat 8 – 5-й і 4-й канали). В полі «Вираз» вводимо формулу NDVI (рис.25). На рис.26 представлений отриманий знімок з підрахованими індексом NDVI.

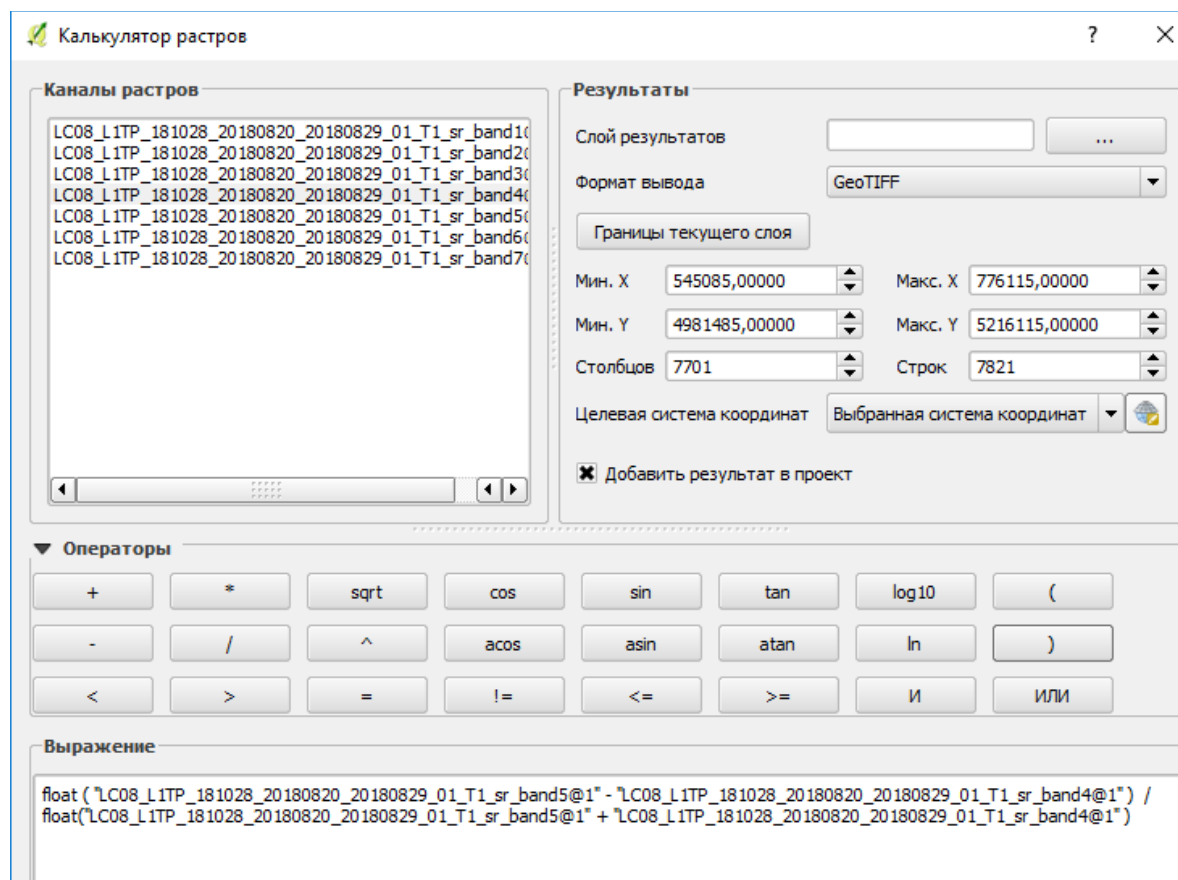


Рисунок 25 – Формула для підрахунку NDVI

Після того, як розраховано індекс, необхідно визначити значення діапазону для лісу і багаторічних насаджень, рілля, пасовища і болот. Для цього переходимо в панель інструментів і вибираємо «Визначити об'єкти» і,

проходячи по карті, знаходимо максимальне і мінімальне значення для кожного пікселя лісу і багаторічних насаджень, рілля, пасовища і болот.

Вибір даних інтервалів розподілу точок обґрунтований тим, що отримані значення з вихідного зображення є значеннями, розрахованими за індексом



Рисунок 26 – Розрахований індекс NDVI для знімка Landsat

NDVI. Значення точок, розраховані по NDVI, представляються у вигляді десяткових дробів, де значення менше 0.2 говорять про те, що на даній ділянці рівень заростання дуже малий або повністю відсутній і дана ділянка може бути охарактеризований як незасіяні рілля. Значення вище 0.6 говорять про те, що в даній області щільність заростання знаходиться на високому рівні.

Для зеленої рослинності відображення в червоній області завжди менше, ніж в ближній інфрачервоній, за рахунок поглинання світла хлорофілом, тому значення NDVI для рослинності не можуть бути менше нуля.

Розрахунок індексу для кожного пікселя космічного знімка по червоній і ближній інфрачервоній спектральним зонам дозволяє отримати похідне зображення – карту NDVI.

В результаті точки для індексу NDVI розподілені наступним чином:

$$S(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 0.54 < f(x, y) \leq 0.85 \\ 2, & \text{якщо } 0.29 < f(x, y) \leq 0.54 \\ 3, & \text{якщо } 0.15 < f(x, y) \leq 0.29 \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (3.1)$$

де $S(x, y)$ – шукане зображення;

1 – ліс, болота, щільна рослинність;

2 – рілля, середня щільності рослинності;

3 – пасовища, бідна рослинність;

0 – вода, нема рослинності.

2.3.3 Основні класифікації знімків ДЗЗ

На рис.27 представлений алгоритм роботи сегментації зображення на прикладі індексу NDVI, плагіну Semi-Automatic Classification в середовищі QGIS, результат роботи якого – поділ всіх пікселів зображення за заданим граничним значенням спектрального індексу і створення вихідного растрового файлу формату GeoTIFF, що містить інформацію про типи пікселів у вигляді бінарного зображення.

Потім отриманий растровий файл сегментації перетворимо в полігони векторного шару зі збереженою проекцією; і текстовий файл, який містить в собі інформацію про координати і значеннях точок кожного сегмента, який дозволить визначити ділянки лісозарастання і сільгоспугіддя.

Робота плагіна відбувається наступним чином. На першому кроці додається космічний знімок території, для більш точної візуалізації об'єкта спостереження можна використовувати функцію "RGB: уявити знімок в синтезованих і натуральних кольорах". Після завантаження необхідно сформувати директорії, куди згодом запишуться файли ROI (регіони інтересу) і файли сигнатур.

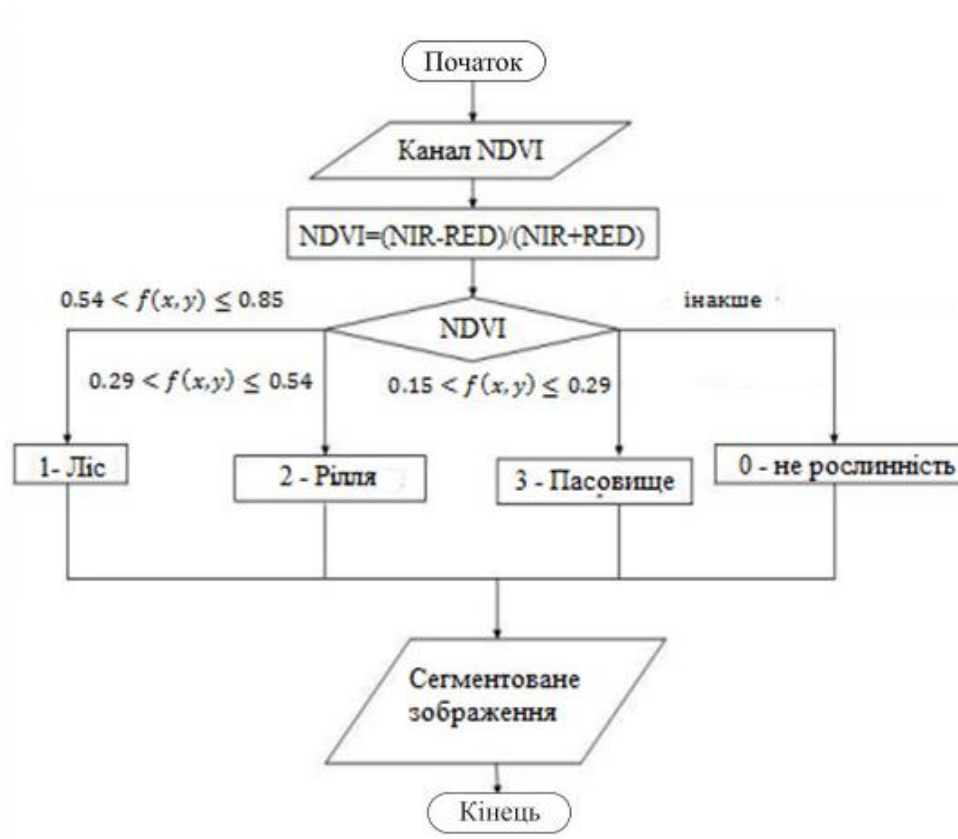


Рисунок 27 – Алгоритм роботи програмного модуля сегментації зображення

Далі потрібно виконати формування файлів "регіонів інтересу" і сигнатур для подальшої класифікації. Для об'єктів з великою площею, таких як дзеркала озер, використовують кнопку полігонального захоплення пікселів (рис.28). Після треба задати id обраного об'єкта і назву і натиснути на "SAVE ROI". Після запису ROI автоматично зміниться і лист сигнатур.

Таким же чином виділимо ділянки голого ґрунту (пасовища). Зважаючи на велику різноманітність кольоровості відкритого ґрунту (в прикладі від фіолетового до слабкого марганцевого) збільшимо радіус захоплення до 3500. Вибираємо оптимальний варіант відображення. Даємо id і назву елементу ROI.

Таким же чином захоплюємо пікселі для лісів, сільгоспугідь і болот.

Після проведення попередніх етапів буде сформований в лист сигнатур (рис.29), в якому записані сигнатури в авто-кольорах. Тобто під час запису ROI

в листі SIG сформувалися рядки з відповідними назвами і класами регіонів інтересу, а також задалися кольори, які можуть бути змінені на більш звичні.

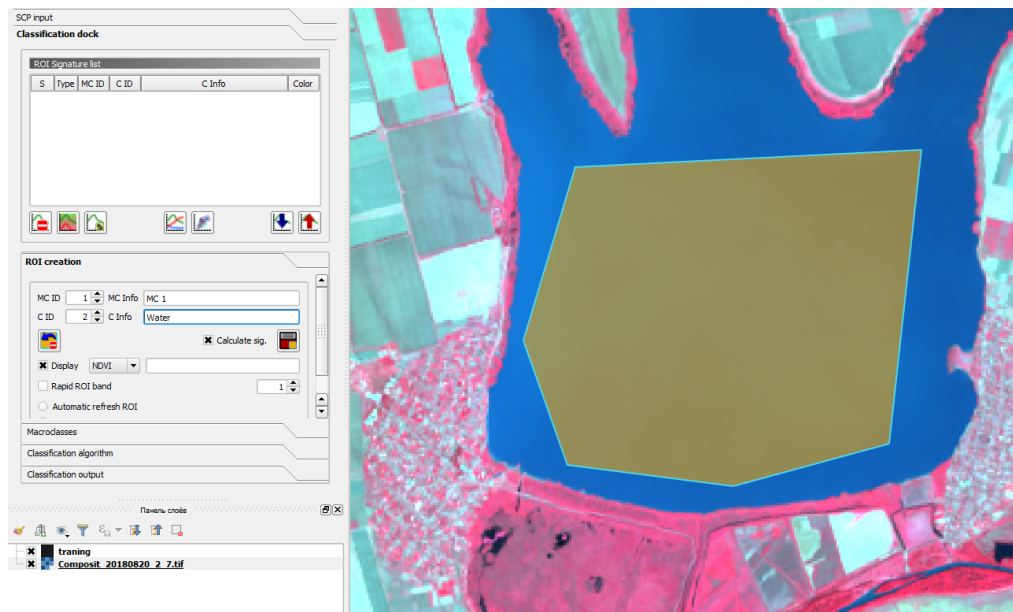


Рисунок 28 – Захоплення пікселів для водних об'єктів

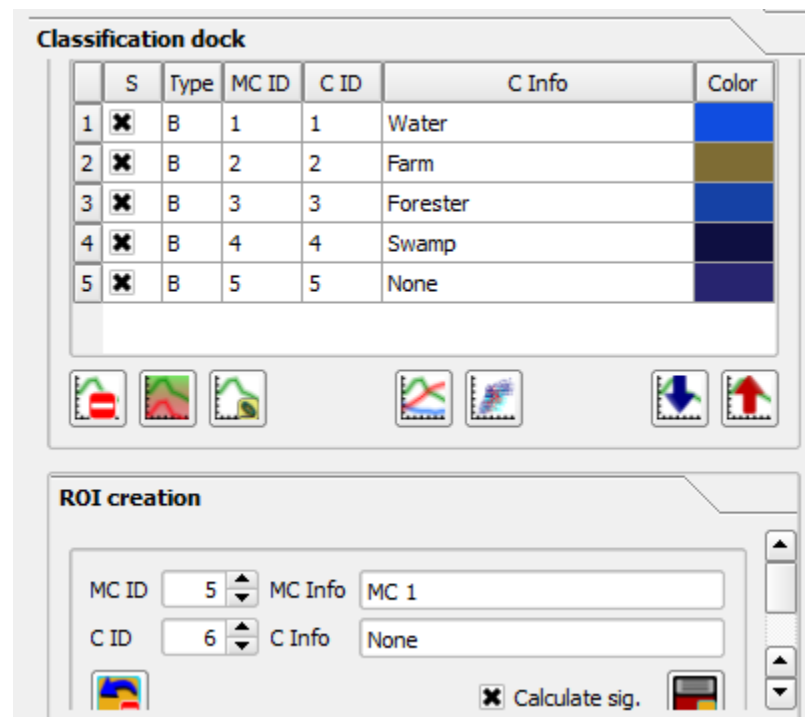


Рисунок 29 – Лист сигнатур

На наступному етапі вибираємо метод класифікації "Spectral Angle Mapping", "Size = 500" і наводимо курсор на космознімок (рис.30).

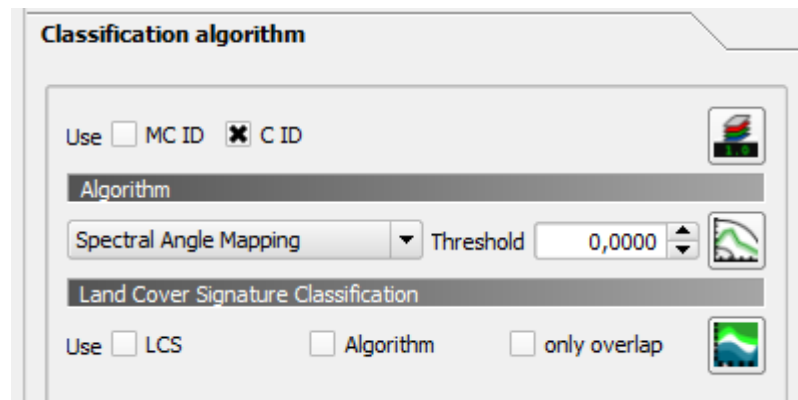


Рисунок 30 – Вибір методу класифікації

Після натискаємо на кнопку "perform classification", створюємо папку "classification" і називаємо в ній документ "classification.tif". Класифікація виконана (рис.31).

Як бачимо, більша частина території, що досліджується, є сільгоспугіддями. Важким класифікувати ліси і болота, тому що вони мають приблизно однакове значення індексу вегетації. Далі за отриманою растровою картою класифікації можна побудувати векторну карту рослинності, шляхом її векторизації.

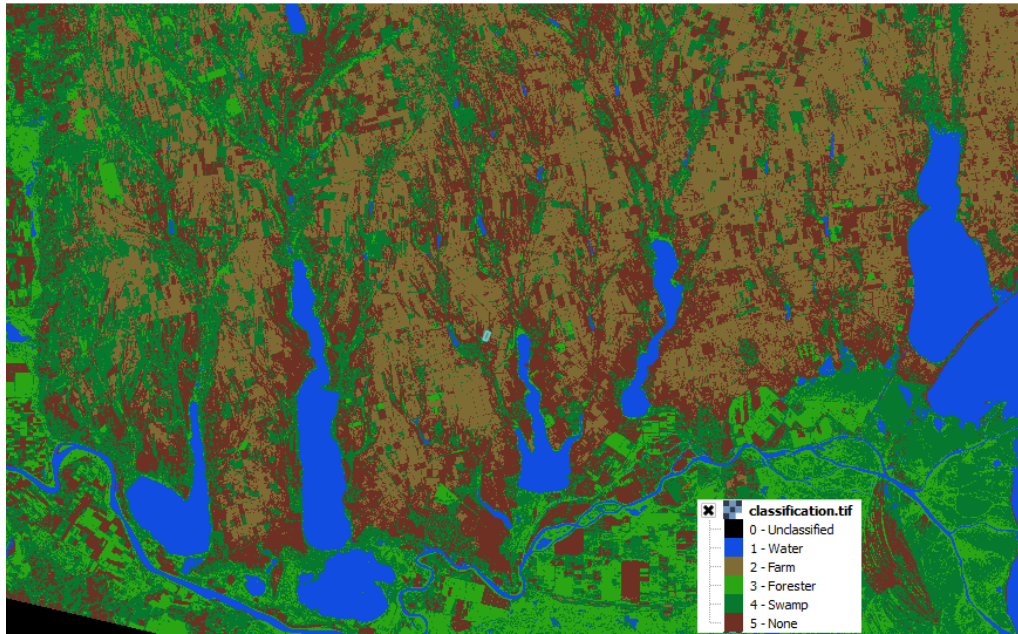


Рисунок 31 – Результат класифікації з навчанням

На рис. 32 представлена векторна карта рослинності території. Як показав її аналіз на території з загальною площею 4778 км², сільськогосподарські угіддя складають площу 2365 км², ліса і лісосмуги – 154,5 км².



Рисунок 32 – Векторні шарі різного типу рослинного покриття

2.3.4 Аналіз отриманих результатів

Найважливішою областю застосування NDVI є галузь сільського господарства. Карти вегетаційного індексу дозволяють чітко окреслити поля, оцінити градієнтність посівів і інші особливості відображення.

Індекс дозволяє здійснити моніторинг сходів сільгосп культур. Динамічні (різносезонні) карти NDVI дозволяють також отримувати кількісні оцінки прогнозованого врожаю різних сільськогосподарських культур, відзначати особливості сезонної вегетації, її порушення, оцінювати якість проведених сільгосп робіт, проводити планування і т.д .

Також подібні карти є основою оцінки ефективності систем меліорації. За відносною продуктивністю монодомінантних сільгоспкультур культур можна оцінювати стан іригаційних і меліоративних систем в регіонах дефіциту ґрунтового водного харчування, виявляються аварії, ґрунтову проточку вод та інші порушення.

Для Кілійського району Одеської області карта індексу вегетації дозволяє виконати оцінку врожайності рисових чекових полів. Завдання оцінки врожайності рисових посівів зазвичай становить труднощі, пов'язані з шумовим ефектом сигналу води на затоплюваних чеках. Побудова індексу NDVI дозволяє отримувати реальну продуктивність посівів і виробляти кількісні оцінки врожаю.

Карти NDVI для вегетаційного періоду 2018 року (з квітня по жовтень) для півдня Одеської області наведені на ри.А.1 додатку А. Карти NDVI на території Кілійського району поблизу м. Вилкова, де знаходяться поля вирощування рису наведені на рис. А.2. За картами можна простежити динаміку зміни стану даних угідь за вегетаційний період.

Зміни індексу NDVI за вегетаційний період 2018 року для області, що досліджується, представлені на рис. 34.

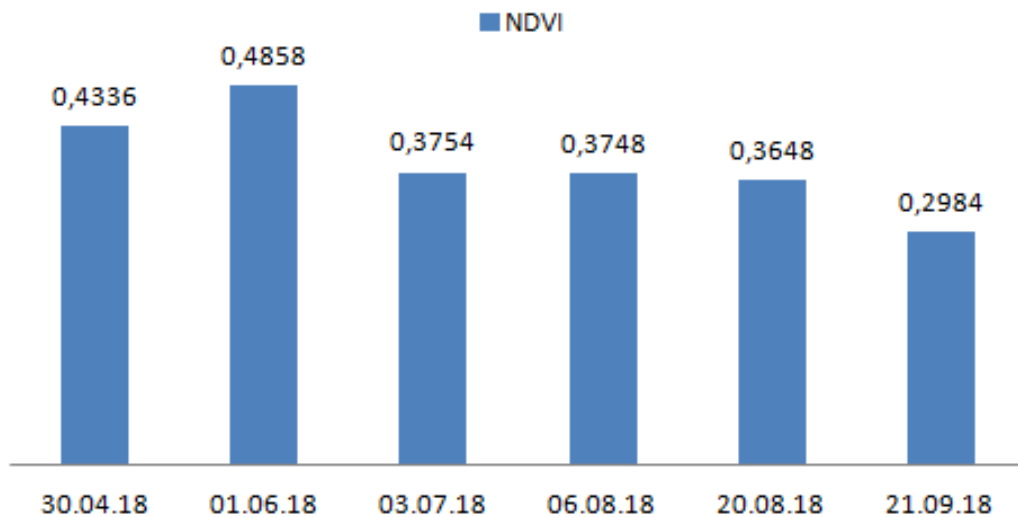


Рисунок 34 – Зміни індексу NDVI за вегетаційний період 2018 року для півдня Одеської області

Порівняння середнього значення індексу NDVI за вегетаційний період для різних років представлено на рис.35.

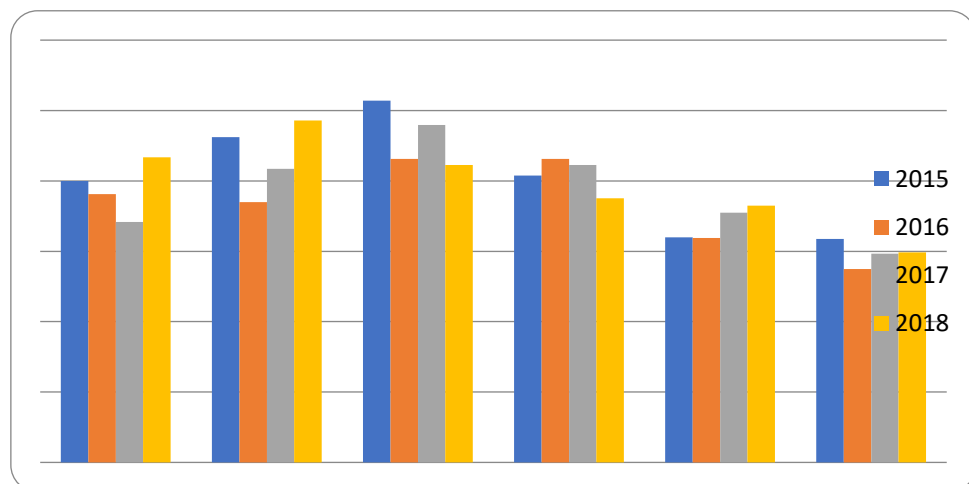


Рисунок 35 – Зміни середнього значення індексу NDVI за вегетаційний період за 2015–2018 роки

2.3.5 Створення інтерактивної карти проекту

В роботі для зручної візуалізації динаміки стану сільськогосподарських угідь була створена інтерактивна карта, яка отображає розраховані індекси NDVI окремих полів, по прикладу платформи для точного землеробства OneSoil [72]. При створенні карти була використана бібліотек Leaflet [73] – картографічна JavaScript-бібліотека, призначена для відображення карт на веб-сайтах. Вона дозволяє легко відобразити графічні карти, що складаються з маленьких фрагментів – тайлів, з додатковими шарами, що накладаються поверх основного, і регулювати їх видимість. Існує безліч плагінів, створених спеціально для бібліотеки Leaflet та дозволяють збільшити її функціональність. Leaflet підтримує шари Web Map Service (WMS), GeoJSON, а також векторні і растрові шари. Бібліотека дозволяє ефективно працювати на більшості настільних та мобільних платформ, а також використовувати новітні можливості мови HTML5, JavaScript і CSS3.

На рис.36 показана діаграма компонентів, яка демонструє розбиття веб-систем на структурні компоненти та зв'язки між ними. Є три основних компоненти: «веб-сервер», «клієнт» і «картографічні веб-сервіси», що взаємодіють між собою за допомогою інтерфейсів. Веб-сервер надає інтерфейс, реалізує протокол HTTP, який використовується клієнтом для отримання веб-сторінок, скриптів і таблиць стилів (HTML + JavaScript + CSS). В «клієнті» виконується JavaScript-код, який, у свою чергу, звертається за допомогою інтерфейсу, що реалізує HTTP, до зовнішнього картографічного веб-сервісу.

Вигляд інтерактивної карти наведений на рис.37. Користувач може переглянути наявні карти індексу вегетації за наведеним на карті діапазон часу за вибраним полем. В якості базової карти підложки додана супутникова карта Google DigitalGlobe.

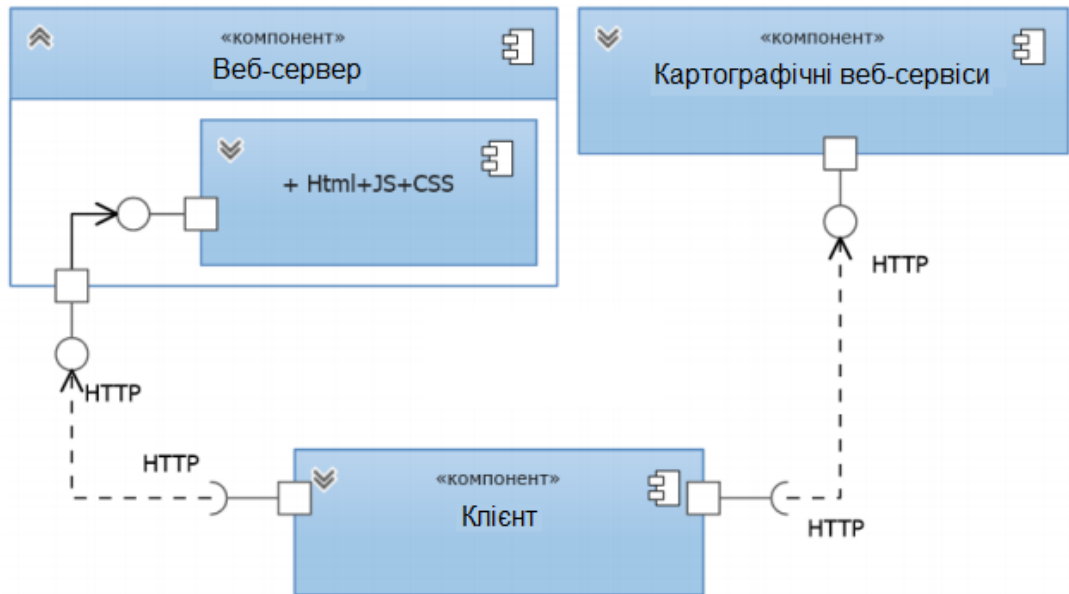


Рисунок 36 – Діаграма компонентів



Рисунок 37 – Вигляд інтерактивної карти проекту

Висновки до розділу 2

В роботі виконана розробка програмного забезпечення оцінки динаміки змін стану земель сільськогосподарського призначення (СГП) для півдня Одеської області з використанням методів збору і обробки даних ДЗЗ та сучасних ГІС-технологій.

Аналіз стану земель базується на розрахунку індексу NDVI, що є кількісним показником кількості фотосинтетичної активної біомаси, який дозволяє виконати оцінку рослинного покриву. В роботі показано, що NDVI дозволяє отримувати кількісні оцінки прогнозованого врожаю різних сільськогосподарських культур, відзначати особливості сезонної вегетації, її порушення, оцінювати якість проведених сільгосп робіт, проводити планування і т.п.

В якості вихідних даних для розрахунку NDVI були використані космічні знімки різних спектральних каналів супутника Landsat. В роботі були виконані етапи первинної атмосферної обробки знімків і наведена методологія побудови комбінованих знімків. Для досліджування використовувалися знімки Ренійського, Ізмаїльського, Болградського і Кілійського районів Одеської області за вегетаційний період (з квітня по жовтень) 2018 – 2015 рр. і 2011 року.

Архівні знімки дозволяють простежити зміни рослинного покриву у часі.

Для класифікації супутникових знімків за щільністю і типом рослинності був використаний метод паралелепіеду, який відноситься до методу класифікації з навчанням. Класифікація і розрахунок виконані в ГІС з відкритим кодом QGIS за допомогою спеціального плагіну Semi-Automatic Classification. Класифікація дозволяє знайти площу ділянок з різною щільністю рослинності, виявити деградовані землі, простежити динаміку змін рослинного покриву.

В роботі була побудована інтерактивна карта проекту з використанням картографічної JavaScript-бібліотеки Leaflet. Інтерактивна карта дозволяє переглянути наявні карти NDVI окремих ділянок території, що досліджується, за різні дати.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗАХИЩЕНОСТІ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Для кожної людини сфера екології є найбільш чутливою. Вона безпосередньо впливає на наше здоров'я та якість життя.

З погіршенням глобального екологічного стану зусилля спільноти все більше спрямовано на покращення та збереження екологічної ситуації. Зокрема, значна увага приділяється моніторингу стану довкілля.

Під моніторингом навколишнього середовища розуміють комплексну систему спостережень, прогноз та оцінка під впливом антропогенних факторів. Зараз моніторинг визначають як сукупність спостережень за визначеними компонентами біосфери та комплекс методів екологічного прогнозування.

Промислові підприємства є головними забруднювачами. Збільшення шкідливих викидів через велику кількість автомобілів також має значний вплив.

Сервісів, що надають дані про забруднення у відкритому доступі, стає все більше, що дає змогу провести оцінку більш детально. Основна задача мережі спостережень для моніторингу за станом довкілля полягає в екологічному районуванні території, яке дозволяє виявити і оцінити фактори, що впливають на розповсюдження забруднюючих речовин.

Система моніторингу антропогенних змін природного середовища не є новою. Вона не потребує організації мережі нових станцій спостереження, ліній та телекомунікації, центрів обробки даних та ін.

В Україні й досі відсутній системний підхід на національному рівні до адміністрування захистом та безпекою усього комплексу таких систем, об'єктів та ресурсів, з врахуванням взаємопов'язаності об'єктів, які прийнято відносити до критичної інфраструктури. За винятком того досі відсутній механізм попередження можливих кризових ситуацій, що пов'язані із функціонуванням критичної інфраструктури. Впровадження такого механізму

потребує ґрунтового обдумування існуючої практики гарантування захисту об'єктів критичної інфраструктури в Україні, що сьогодні характеризується домінування відомчих підходів, аналізу взаємодії та координації дій відповідальних державних органів, способів і практики залучення суб'єктів господарства до підвищення безпеки та стабільності діяльності критичної інфраструктури.

Дана Зелена книжка розроблена з метою спомагання експертному обговоренню на національному рівні основних проблем та напрямів їх вирішення з приводу створення системи захисту критичної інфраструктури в Україні, що зробить ваговитий внесок у процес системного реформування усього сектору безпеки держави, наблизивши його структуру і функції до тих, що вже існують у країнах-членах ЄС та НАТО.

3.1 Аналіз предметної області

3.1.1. Актуальність роботи

Актуальність предметної області обумовлюється необхідністю підвищення рівня захищеності доступу споживачів до відкритої інформації про поточний стан екологічної безпеки. Актуальність і невідкладність вирішення проблем моніторингових досліджень полягають в тому, що хоча й існує низка відомчих спостережень систем за станом довкілля, але вони не зведені в єдиний комплекс і не можуть ефективно виконувати узагальнюючу функцію оцінки стану і рівня використання ресурсів.

Державною гідрометеорологічною службою здійснюються спостереження за забрудненням атмосферного повітря у 53 містах України

Ведуться спостереження за хімічним складом атмосферних опадів та за кислотністю опадів.

Деякі станції здійснюють спостереження за додатковими забруднюючими речовинами. Проводиться аналіз наявності забруднюючих речовин в опадах та сніговому покриві.

Державна екологічна інспекція здійснює вибірковий відбір проб на джерелах викидів.

3.1.2. Інформаційна взаємодія систем моніторингу довкілля

Основні задачі екологічного моніторингу: спостереження за станом біосфери, оцінка і прогноз її стану, визначення ступеня антропогенного впливу на навколишнє середовище, виявлення факторів і джерел впливу. В кінцевому випадку метою моніторингу навколишнього середовища є оптимізація відносин людини з природою, екологічна орієнтація господарської діяльності.

У 1972 р. в Стокгольмі пройшла конференція по охороні навколишнього середовища під егідою ООН, де вперше виникла необхідність домовитися про визначення поняття "моніторинг". Вирішено було під моніторингом навколишнього середовища розуміти комплексну систему спостережень, оцінки і прогнозу змін стану навколишнього середовища під впливом антропогенних факторів [75].

Основні задачі екологічного моніторингу: спостереження за станом біосфери, оцінка і прогноз її стану, визначення ступеня антропогенного впливу на навколишнє середовище, виявлення факторів і джерел впливу. В кінцевому випадку метою моніторингу навколишнього середовища є оптимізація відносин людини з природою, екологічна орієнтація господарської діяльності.

Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» передбачено створення державної системи моніторингу довкілля (ДСМД) та проведення спостережень за станом навколишнього природного середовища, рівнем його забруднення. Суб'єктами ДСМД створені, або розробляються відомчі бази даних моніторингової інформації. Існуюча система інформаційної взаємодії відомчих підсистем моніторингу довкілля передбачає обмін інформацією на загальнодержавному та регіональному рівнях. Організаційна інтеграція суб'єктів моніторингу довкілля на всіх рівнях здійснюється Мінприроди та його територіальними органами.

Для упорядкування процесу обміну інформацією за показниками та термінами надання екологічної інформації між Мінприроди та суб'єктами ДСМД укладено двохсторонні угоди про співробітництво у сфері моніторингу навколишнього природного середовища, до яких розроблені відповідні регламенти обміну екологічною інформацією.

Оперативна моніторингова інформація передається територіальними органами суб'єктів ДСМД до регіональних центрів моніторингу довкілля, або державних управлінь охорони навколишнього природного середовища в регіонах. Узагальнена аналітична інформація надається міністерствами та відомствами-суб'єктами ДСМД Мінприроди.

Отримані дані передаються до Інформаційно - аналітичного центру Мінприроди та накопичується у банках екологічних даних [76].

На основі отриманої щомісячної та щоквартальної інформації Мінприроди видається інформаційно – аналітичний огляд „Стан довкілля в Україні”, який розповсюджується серед заінтересованих користувачів.

Функціонування Інформаційно-аналітичного центру Мінприроди забезпечує інформаційний обмін з регіональними центрами моніторингу довкілля, суб'єктами державної системи моніторингу довкілля, створення уніфікованого банку екологічних даних, проведення комплексного аналізу стану довкілля, тощо.

Постановою Кабінету Міністрів України від 05.12.2007 № 1376 затверджено Державну цільову екологічну програму проведення моніторингу навколишнього природного середовища.

Програма спрямована на поєднання зусиль усіх суб'єктів системи моніторингу щодо виключення дублювання та включення додаткових функцій з моніторингу, створення єдиної мережі спостережень після оптимізації її елементів та програм спостережень, вдосконалення технічного, методичного, метрологічного та наукового забезпечення функціонування єдиної мережі спостережень. З метою забезпечення інтеграції інформаційних ресурсів суб'єктів системи моніторингу довкілля передбачено створення та

забезпечення функціонування єдиної автоматизованої підсистеми збору, оброблення, аналізу і збереження даних та інформації, отриманих в результаті здійснення моніторингу [77].

В межах Державної цільової екологічної програми проведення моніторингу навколишнього природного середовища, у тому числі, передбачено розширення мережі автоматизованих постів спостережень за забрудненням атмосферного повітря в екологічно небезпечних містах.

3.2 Забезпечення безпеки систем критичної інфраструктури

3.2.1. Законодавство у сфері безпеки критичної інфраструктури та систем моніторингу

Законодавчі норми у сфері безпеки критичної інфраструктури регулюються Законом України «Про критичну інфраструктуру», Положенням про Державну службу захисту критичної інфраструктури та забезпечення національної системи стійкості України, Порядком проведення моніторингу рівня безпеки об'єктів критичної інфраструктури.

Державна політика у сфері захисту критичної інфраструктури ґрунтується на засадах:

визнання необхідності забезпечення безпеки та стійкості критичної інфраструктури;

визначення законодавчих вимог до принципів, пріоритетів, стратегічних завдань, підходів щодо захисту критичної інфраструктури;

визначення суб'єктів національної системи захисту критичної інфраструктури, їх повноважень та засад відповідальності, порядку взаємодії;

створення умов та впровадження заходів, спрямованих на ефективне зниження і контроль за ризиками безпеки, на зниження ризику реалізації можливих загроз, ліквідацію та/або мінімізацію наслідків реалізованих загроз, кризових ситуацій та інших їх видів;

створення системи раннього виявлення загроз критичній інфраструктурі;
запровадження державно-приватного партнерства, взаємодії суб'єктів господарювання та населення з питань забезпечення захисту та стійкості критичної інфраструктури;
забезпечення міжнародного співробітництва у сфері захисту критичної інфраструктури;
створення умов швидкого відновлення надання життєво важливих функцій та послуг у разі реалізації загроз і порушення функціонування критичної інфраструктури.

Метою державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури є забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури, запобігання проявам несанкціонованого втручання в їх функціонування, прогнозування та запобігання кризовим ситуаціям на об'єктах критичної інфраструктури [78].

До завдань формування і реалізації державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури належать:

- запобігання проявам несанкціонованого втручання в її функціонування, прогнозування та запобігання кризовим ситуаціям на об'єктах критичної інфраструктури;
- попередження кризових ситуацій, що порушують безпеку критичної інфраструктури;
- створення, впровадження, розвиток та забезпечення функціонування національної системи захисту критичної інфраструктури, у тому числі шляхом визначення уповноваженого органу у сфері захисту критичної інфраструктури України, а також визначення повноважень у сфері захисту критичної інфраструктури інших суб'єктів національної системи захисту критичної інфраструктури;
- розроблення нормативно-правової та нормативно-технічної бази з питань забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури;
- розроблення та реалізація державних цільових програм із захисту критичної інфраструктури;

- розроблення комплексу заходів з контролю за ризиками безпеки, виявлення, запобігання та ліквідації наслідків інцидентів безпеки на об'єктах критичної інфраструктури;
- встановлення обов'язкових вимог із забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури, їх захищеності на всіх етапах життєвого циклу, у тому числі під час створення, прийняття в експлуатацію, модернізації;
- аналіз викликів та загроз, що впливають на стійкість критичної інфраструктури, оцінка стану її захищеності;
- розроблення методології аналізу результативності державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури;
- підготовка, перепідготовка, підвищення кваліфікації, тренування працівників національної системи захисту критичної інфраструктури;
- забезпечення взаємодії національної системи захисту критичної інфраструктури з відповідними міжнародними системами, насамперед європейськими та євроатлантичними.

Моніторинг рівня безпеки об'єктів критичної інфраструктури здійснюється шляхом проведення оцінки стану захищеності об'єктів критичної інфраструктури.

Метою проведення моніторингу є встановлення відповідності стану захищеності об'єкта критичної інфраструктури вимогам законодавства, достовірності наданої інформації визначеним суб'єктам національної системи захисту критичної інфраструктури, надання методичної допомоги операторам об'єктів критичної інфраструктури щодо вдосконалення системи захисту критичної інфраструктури.

Йдеться про об'єкти енергозабезпечення, водопостачання, медицини, транспорту, оборони, хімічної промисловості та інших сфер, порушення роботи яких призводить до загроз національній безпеці та може завдати шкоди життєво важливим національним інтересам [79].

Об'єкти критичної інфраструктури – об'єкти інфраструктури, системи, їх частини та їх сукупність, які є важливими для економіки, національної безпеки та оборони, порушення функціонування яких може завдати шкоди життєво важливим національним інтересам. Йдеться про об'єкти енергозабезпечення, водопостачання, медицини, транспорту, оборони, хімічної промисловості тощо.

Безпека критичної інфраструктури – стан захищеності критичної інфраструктури, за якого забезпечуються функціональність, безперервність роботи, відновлюваність, цілісність і стійкість критичної інфраструктури. Моніторинг передбачає здійснення заходів, спрямованих на отримання, узагальнення, оброблення, збереження та проведення аналізу інформації про фактичний стан захищеності об'єкта критичної інфраструктури, дотримання вимог законодавства у сфері критичної інфраструктури, здійснення контролю за ризиками безпеки та удосконалення заходів, які здійснюються для забезпечення безпеки та стійкості об'єкта критичної інфраструктури, а також на визначення перспектив подальшого функціонування і розвитку національної системи захисту критичної інфраструктури [80].

Порядок проведення моніторингу рівня безпеки об'єктів критичної інфраструктури напрацьований на вимогу ЗУ «Про критичну інфраструктуру» і містить чіткий алгоритм дій:

- моніторинг здійснюватиметься раз на три роки секторальними та функціональними органами у сфері захисту критичної інфраструктури відповідно до річного плану, що складається до 15 грудня року, що передує плановому періоду;
- моніторинг проводиться відповідно до розробленого плану, який доводиться оператору критичної інфраструктури не пізніше ніж за 15 робочих днів до початку проведення такого моніторингу;
- оцінка стану захищеності буде враховувати специфіку функціонування об'єкта;

- згідно з результатом моніторингу складатимуть акт, де вкажуть одну з трьох оцінок забезпечення захищеності: «забезпечує», «обмежено забезпечує», «не забезпечує» (за встановленою формою, не пізніше ніж 14 робочих днів після закінчення моніторингу);
- оператор критичної інфраструктури (юрособа або ФОП, що управляє об'єктом) отримає акт перевірки і зобов'язаний вжити заходів щодо усунення виявлених недоліків та порушень.

Структура Акта оцінки стану захищеності:

- критерії оцінки стану захищеності та результати оцінки за кожним критерієм;
- дані про стан захищеності об'єкта критичної інфраструктури;
- дані про порушення (у разі їх наявності) вимог законодавства у сфері критичної інфраструктури, а також інші недоліки, що впливають на захищеність об'єкта критичної інфраструктури;
- результати оцінки стану безпеки об'єкта критичної інфраструктури суб'єктом моніторингу;
- пропозиції щодо удосконалення системи захисту об'єктів критичної інфраструктури, усунення порушень та/або недоліків (у разі їх наявності) із зазначенням строків вжиття відповідних заходів.

Державний орган, що проводить моніторинг, за допомогою оцінки стану захищеності об'єктів критичної інфраструктури (враховувати специфіку функціонування об'єкта), – секторальний і функціональний орган у сфері захисту критичної інфраструктури, який повинен визначати критерії оцінки стану захищеності, їх показники та методику оцінки стану захищеності [81].

Секторальний орган у сфері захисту критичної інфраструктури – державний орган, визначений законодавством відповідальним за забезпечення формування та реалізації державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури в окремому секторі критичної інфраструктури. Отже, держава постійно стежитиме за станом критичної інфраструктури і матиме достатні механізми впливу для того, аби гарантувати її безперебійну роботу.

Під час війни та в період післявоєнної відбудови ефективний контроль за критичною інфраструктурою дасть змогу уникнути надзвичайних ситуацій і забезпечити українців ресурсами та послугами, які вона генерує.

Державна служба захисту критичної інфраструктури та забезпечення національної системи стійкості України (ДЗКІ) є головним органом у системі центральних органів виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері захисту критичної інфраструктури та забезпечення національної системи стійкості.

Основними завданнями ДЗКІ є:

- формування та реалізація державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури та забезпечення національної системи стійкості;
- здійснення функціонального управління національною системою захисту критичної інфраструктури та національною системою стійкості;
- забезпечення координації діяльності міністерств та операторів критичної інфраструктури з питань забезпечення стійкості та захисту об'єктів критичної інфраструктури.

ДЗКІ відповідно до покладених на неї завдань:

- узагальнює практику застосування законодавства з питань, що належать до її компетенції, розробляє пропозиції щодо вдосконалення законодавчих актів, актів Президента України, Кабінету Міністрів України та в установленому порядку вносить їх на розгляд Кабінету Міністрів України; розробляє проекти законів та інших нормативно-правових актів з питань, що належать до її компетенції;
- здійснює нормативно-правове регулювання питань, що належать до її компетенції; координує діяльність міністерств, інших центральних та місцевих органів виконавчої влади (військово-цивільних адміністрацій - у разі утворення) у сфері захисту критичної інфраструктури та забезпечення національної системи стійкості;
- узагальнює пропозиції суб'єктів національної системи захисту критичної інфраструктури, формує та веде Реєстр об'єктів критичної

інфраструктури); взаємодіє з секторальними, функціональними органами у сфері захисту критичної інфраструктури та операторами критичної інфраструктури з питань забезпечення захисту об'єктів, включених до Реєстру;

- організовує проведення оцінки захищеності об'єктів критичної інфраструктури, внесених до Реєстру, аналізує та оцінює загальний стан їх захищеності; проводить оцінку загроз критичній інфраструктурі на національному рівні та оцінку загроз національній безпеці внаслідок реалізації загроз критичній інфраструктурі із залученням секторальних і функціональних органів у сфері захисту критичної інфраструктури;
- готує щорічну оцінку ризиків і загроз критичній інфраструктурі національного рівня; погоджує проектні ризики і загрози критичній інфраструктурі секторального рівня; готує рекомендації щодо визначення вимог до забезпечення захисту та стійкості секторів критичної інфраструктури відповідно до категорій об'єктів критичної інфраструктури;
- подає пропозиції Кабінету Міністрів України щодо Національного плану захисту та забезпечення стійкості критичної інфраструктури, порядку розроблення, форми та змісту паспорта безпеки об'єкта критичної інфраструктури та порядку розроблення, форми та змісту планів заходів щодо захисту критичної інфраструктури, які приймаються на національному рівні;
- розробляє та затверджує Проектні загрози критичній інфраструктурі національного рівня, що становлять інформацію з обмеженим доступом; готує висновки та рекомендації власнику/оператору критичної інфраструктури щодо зміни права власності, цільового призначення чи режиму функціонування об'єкта критичної інфраструктури; забезпечує функціонування системи обміну інформацією між суб'єктами національної системи захисту критичної інфраструктури; створює бази даних щодо загроз і вразливостей критичній інфраструктурі;

- забезпечує координацію секторальних органів, підготовку пропозицій до проектів стратегічних документів щодо забезпечення безпеки та стійкості, здійснення захисту критичної інфраструктури - Стратегії національної безпеки України, Стратегії кібербезпеки України та Стратегії громадської безпеки та цивільного захисту України;
- бере участь у розробленні нової галузі знань, програм навчання, підвищення кваліфікації, робочих і навчальних програм з питань забезпечення стійкості та захисту критичної інфраструктури;
- здійснює міжнародне співробітництво, забезпечує дотримання і виконання зобов'язань, взятих відповідно до міжнародних договорів України з питань захисту критичної інфраструктури, налагоджує і підтримує зв'язки з міжнародними організаціями, іноземними державами, їх правоохоронними органами та спеціальними службами;
- попереджує кризові ситуації, що порушують безпеку критичної інфраструктури; створює, впроваджує, розвиває та забезпечує функціонування національної системи захисту критичної інфраструктури; розробляє нормативно-технічну базу з питань забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури; розробляє та реалізує державні цільові програми із захисту критичної інфраструктури;
- розробляє комплекс заходів з контролю за ризиками безпеки, виявляє, запобігає та ліквідує наслідки інцидентів безпеки на об'єктах критичної інфраструктури; встановлює обов'язкові вимоги із забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури, їх захищеності на всіх етапах життєвого циклу, у тому числі під час створення, прийняття в експлуатацію, модернізації;
- аналізує виклики та загрози, що впливають на стійкість критичної інфраструктури, оцінку стану її захищеності; розробляє методологію аналізу результативності державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури; забезпечує підготовку, перепідготовку, підвищення

кваліфікації, тренування працівників національної системи захисту критичної інфраструктури;

- забезпечує взаємодію національної системи захисту критичної інфраструктури з відповідними міжнародними системами, насамперед європейськими та євроатлантичними; виступає в установленому порядку замовником науково-дослідних робіт з питань захисту критичної інфраструктури та забезпечення національної системи стійкості тощо.

ДЗКІ з метою організації своєї діяльності [82]:

- забезпечує в межах повноважень, передбачених законом, здійснення заходів щодо запобігання корупції та контроль за їх реалізацією в апараті ДЗКІ;
- здійснює добір кадрів в апарат ДЗКІ, організовує роботу з підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації державних службовців і працівників апарату ДЗКІ ;
- організовує планово-фінансову роботу апарату ДЗКІ, здійснює контроль за використанням фінансових і матеріальних ресурсів, забезпечує організацію та вдосконалення бухгалтерського обліку;
- забезпечує ефективне і цільове використання бюджетних коштів;
- забезпечує в межах повноважень, передбачених законом, реалізацію державної політики стосовно державної таємниці, здійснення контролю за її збереженням в апараті ДЗКІ, захист інформації з обмеженим доступом, а також технічний захист інформації, здійснення контролю за її збереженням;
- забезпечує в межах повноважень, передбачених законом, виконання завдань із мобілізаційної підготовки та мобілізаційної готовності держави;
- забезпечує в межах повноважень, передбачених законом, залучення громадян до участі в управлінні державними справами, ефективну взаємодію з інститутами громадянського суспільства, здійснення

громадського контролю за діяльністю ДЗКІ, врахування громадської думки під час формування та реалізації державної політики з питань, що належать до компетенції ДЗКІ;

- забезпечує в установленому порядку самопредставництво інтересів ДЗКІ в судах України та інших державних органах, яке здійснюється без окремого доручення керівника державними службовцями структурних підрозділів ДЗКІ відповідно до положення про такі структурні підрозділи;
- забезпечує представництво інтересів ДЗКІ в судах України та інших органах;
- забезпечує стійке функціонування системи управління щодо формування, ведення та використання страхового фонду документації.

ДЗКІ для виконання покладених на неї завдань має право:

- залучати в установленому порядку спеціалістів центральних і місцевих органів виконавчої влади, підприємств, установ та організацій (за погодженням з їх керівниками), вчених, представників інститутів громадянського суспільства (за згодою) до розгляду питань, що належать до її компетенції;
- отримувати безоплатно від міністерств, інших центральних і місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування необхідні інформацію, документи і матеріали, зокрема від органів державної статистики - статистичну інформацію;
- скликати наради, утворювати комісії та робочі групи, проводити наукові конференції, семінари та інші публічні заходи з питань, що належать до її компетенції;
- користуватися відповідними інформаційними базами даних державних органів, державною системою урядового зв'язку та іншими технічними засобами.

3.2.2. Криптографічні системи захисту

Одним із найважливіших компонентів сучасних систем захисту інформації є криптографічна підсистема, яка вирішує завдання забезпечення цілісності, конфіденційності та аутентифікації інформації, що передається та зберігається. У цьому випадку основним компонентом криптографічної підсистеми є блочно-симетричний шифр (BSC), який використовується для криптографічного перетворення великих обсягів даних. Ці компоненти настільки часто використовуються в системах обробки і передачі інформації, що відповідні їм блоки тепер реалізовані в процесорах у вигляді окремих апаратних модулів [83]. Відзначимо також той факт, що в багатьох країнах описані криптографічні конструкції стандартизовані та використовуються для захисту інформації в критично важливих для національної безпеки спеціалізованих інформаційних системах. Зокрема, в Україні для захисту інформації у військових і цивільних системах обробки та зберігання інформації використовується криптоалгоритм Kalyna, який описаний стандартом ДСТУ 7624:2014. Ці обставини роблять завдання оцінки та підвищення криптографічної якості цих алгоритмів особливо актуальними.

Важливим компонентом будь-якої складної системи захисту інформації є блочно-симетричний криптографічний алгоритм, який виконує криптографічне перетворення переданого повідомлення, розділеного на блоки, за допомогою ключа, відомого як відправнику, так і одержувачу повідомлення. У той же час стійкість майже всіх криптографічних алгоритмів, що використовуються в практичних системах, не є абсолютною, а базується на припущенні, що на сучасному етапі розвитку технологій криптоаналітик не може мати достатніх обчислювальних ресурсів для зламу шифру в прийнятний час. З іншого боку, сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується постійним удосконаленням методів криптоаналізу, а також розвитком квантових комп'ютерів, які можуть значно спростити складні обчислювальні завдання для класичних комп'ютерів. При цьому

псевдовипадкові послідовності використовуються як ключі шифрування для сучасних блочно-симетричних криптографічних алгоритмів (наприклад, згенеровані за допомогою генераторів псевдовипадкових ключових послідовностей [84] або розрахованих за паролем користувача значень хеш-функцій). В умовах постквантової криптографії у разі достатньо великої довжини пароля неможливо застосувати алгоритмічну атаку, наприклад, за допомогою алгоритму Шора, як це можна зробити для зламу асиметричних алгоритмів шифрування [83]. Таким чином, для зламу сучасних блочних симетричних криптоалгоритмів криптоаналітику все одно необхідно використовувати метод грубої сили (який, у майбутньому, можна буде прискорити за допомогою квантових алгоритмів) у поєднанні з виявленими структурними уразливими місцями криптоалгоритму, через які кількість обчислень може бути зменшена під час роботи методу грубої сили. Ця обставина робить особливо актуальним завдання більш детального дослідження властивостей криптографічних конструкцій, які використовуються в сучасних криптоалгоритмах.

Фундаментальними принципами, на яких будується будь-який сучасний криптографічний алгоритм, є принципи дифузії та плутанини, запропоновані К. Шенноном [84]. Однак, як і теорема Шеннона, принципи дифузії та плутанини дають лише уявлення про якість криптографічних конструкцій і побудованих на їх основі криптографічних алгоритмів. Тим не менш, вони не надають ані конкретних методів оцінки якості криптографічних примітивів і криптографічних алгоритмів, ані методів побудови криптографічних примітивів і алгоритмів, які б найкращим чином реалізовували принципи дифузії та плутанини. З моменту формулювання принципів дифузії та плутанини К. Шенноном було зроблено багато спроб створити комплексну теорію оцінки якості криптографічних алгоритмів і примітивів на їх основі, яка була б зосереджена на оцінці здатності криптографічних компоненти алгоритмів та їх суперпозиції для протистояння можливим атакам із застосуванням сучасних методів криптоаналізу. Тим не менш, подальший

розвиток методів криптоаналізу, зокрема поява криптоаналітичних атак на основі багатозначних логічних функцій [85], а також активний розвиток методів квантового криптоаналізу [84], визначає необхідність подальшого вдосконалення методів. для оцінки криптографічної якості існуючих структур і розробки нових криптографічних конструкцій і криптографічних алгоритмів, що відповідають розробленим критеріям криптографічної якості.

3.2.3. Сучасні методи оцінки якості криптографії

На даний час створено багато підходів до оцінки криптографічної якості, зокрема, заснованих на аналізі стохастичних властивостей вихідних послідовностей криптографічних алгоритмів [84], у яких, наприклад, можуть бути використані стохастичні тести якості [85]. Існує також підхід до дослідження ступеня реалізації принципів дифузії та плутанини в криптоалгоритмі, заснований на дослідженні його зменшених копій [85], який було застосовано до криптоалгоритмів Kalyna, Rijndael [86] та інші. Також існує метод оцінки якості реалізації принципів дифузії та плутанини криптоалгоритмом, заснований на дослідженні кількості ітерацій, необхідних для досягнення стаціонарного стану, властивого випадковій підстановці [83], а також інші підходи, застосовні для конкретних криптографічних алгоритмів. Водночас не викликає сумніву, що основною криптографічною конструкцією, яка визначає якість криптоалгоритму, є S-box [86].

Блок заміни бітів $k_1 \times k_2$ або S-блок є відображенням $\{0,1\}^{k_1} \rightarrow \{0,1\}^{k_2}$, тобто відображенням, яке однозначно відображає будь-який вхідний бітовий вектор k_1 на вихідний бітовий вектор k_2 .

Структура S-блока і, отже, його криптографічні властивості можуть бути повністю визначені Q-послідовністю довжини $N = q^k$. Якщо дана Q-послідовність містить усі елементи монотонно зростаючої послідовності $0,1,\dots,N-1$, то такий S-блок називається бієктивним і може бути використаний

у практичних схемах сучасних криптографічних алгоритмів. Зрозуміло, що повна потужність класу бієктивних S-боксів довжини N дорівнює $N!$.

Досить багато досліджень присвячено підвищенню криптографічної якості S-блоків [77...83]. У цих роботах в якості основи для дослідження та вимірювання криптографічної якості S-бок використовуються математичний апарат компонентних булевих функцій, до яких застосовано набір критеріїв криптографічної якості [78], кожен з яких характеризує ступінь дифузії та плутанини [84] криптографічного алгоритму i , таким чином, рівень його захисту від відомих атак криптоаналізу. Тим не менш, криптоаналітик не обмежений у способах представлення структур криптографічних алгоритмів i , крім математичного апарату булевих функцій, може застосовувати математичний апарат функцій багатозначної логіки [85], який вже використовується сьогодні. у сучасних методах криптоаналізу [86]. Ця обставина зумовлює необхідність дослідження криптографічних властивостей складових функцій багатозначної логіки сучасних криптоалгоритмів з метою комплексної оцінки їх криптографічної якості та розробки рекомендацій щодо її покращення. Одним із найважливіших криптографічних критеріїв якості є критерій нелінійності, який характеризує та чисельно представляє рівень плутанини, який може бути забезпечений даним нелінійним перетворенням. Методика оцінки нелінійності булевих функцій представлена в [86], а методика оцінки нелінійності функцій багатозначної логіки обґрунтована в [85]. Дослідження нелінійності криптоалгоритму AES S-бок, представленого за допомогою булевих функцій, 4-функцій та 16-функцій, представлено в [84]. Тим не менш, криптографічні характеристики інших сучасних поширених на практиці криптографічних алгоритмів, представлених функціями багатозначної логіки, залишаються невідомими. Також в літературі відсутній порівняльний аналіз нелінійності S-блоків сучасних криптоалгоритмів, коли вони представлені функціями багатозначної логіки.

Традиційно під нелінійністю булевих функцій або функцій багатозначної логіки розуміють їхню віддаленість у сенсі певної метрики від

множини функцій, які приймаються за найбільш лінійні. Найчастіше як таку множину розглядають кодові слова афінного коду, хоча існують і інші, неklasичні визначення нелінійності, наприклад, у сенсі віддаленості від множини квадратичних функцій. Висока нелінійність функцій, що використовуються в криптографічних алгоритмах, значно підвищує складність зв'язку між елементами вхідного тексту, ключа і вихідного тексту, що ускладнює завдання криптоаналітика.

Розробці методів оцінювання нелінійності булевих функцій, а також функцій багатозначної логіки присвячено багато публікацій.

Традиційним методом є оцінка відстані нелінійності булевих функцій у часовій області [86], що передбачає знаходження мінімуму серед відстаней Хеммінга від досліджуваної булевої функції до кожного з кодових слів афінного коду [85]. Іншим методом визначення відстані нелінійності є метод, що базується на дослідженні максимального абсолютного значення серед коефіцієнтів перетворення Уолша-Адамара [87].

Метод оцінки відстані нелінійності булевих функцій в області визначення коефіцієнтів перетворення Уолша-Адамара можна узагальнити для функцій багатозначної логіки. У цьому випадку відстань нелінійності визначається наступною основною формулою

$$N_f = \{q^k - \{|\Omega_f|\}, q > 2; 2^{k-1} - \frac{1}{2}\{|\mathcal{W}_f|\}, q = 2,$$

де Ω_f – коефіцієнти перетворення Віленкіна-Крестенсона багатозначної логічної функції, які знаходяться шляхом множення її експоненціальної таблиці істинності, представленою алфавітом

$$z_k = e^{j\frac{2\pi}{q}k}, k \in \{0, 1, \dots, q-1\},$$

на матрицю Віленкіна-Крестенсона, рядки якої можна представити у вигляді [87]

$$v_t(x) = e^{\frac{2\pi}{q} \sum_{i=1}^k t_i x_i},$$

де q – основа системи числення,

t_i – i -й елемент числа, записаного в позиційній системі,
 k є числом елементів у q -представленні значення N , яке визначає довжину вибірок сигналу, і $N = q^k$.

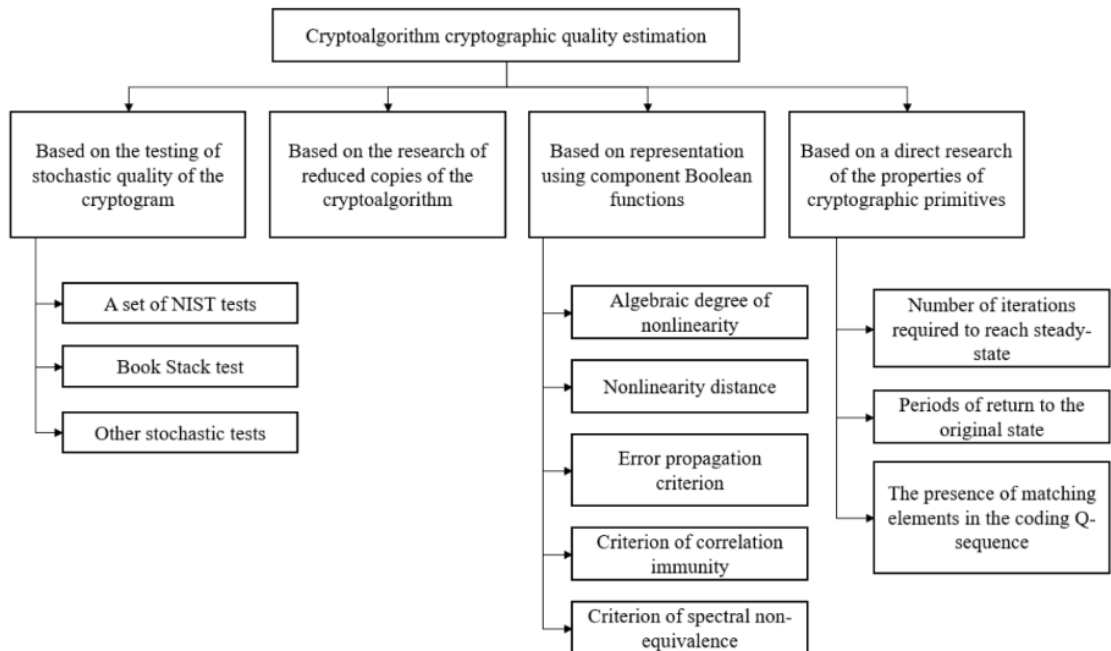


Рисунок 1 – Класифікація основних підходів до оцінки криптографічної якості криптографічних алгоритмів

Вибір конкретних S-боксів для практичного використання здійснюється на основі їх дослідження відповідно до загальноприйнятого підходу, який передбачає використання математичного апарату булевих функцій. Для цього Q-послідовність кодування розкладається на набір складових булевих функцій, які можуть бути представлені за допомогою їхніх таблиць істинності. Крім того, для кожної з компонентних булевих функцій застосовується набір криптографічних критеріїв якості. Підсумовуючи, на рис. 1 наведемо класифікацію основних підходів до дослідження криптографічної якості криптоалгоритмів.

Після представлення криптографічної конструкції за допомогою булевих функцій до них застосовується набір криптографічних критеріїв якості. Сьогодні ці критерії криптографічної якості включають наступне:

- Алгебраїчний ступінь нелінійності, який характеризує ступінь алгебраїчної складності виходу булевої функції щодо її вхідних змінних [86]. Алгебраїчний ступінь нелінійності показує, наскільки нелінійними є булеві функції, які є частиною криптографічної конструкції з алгебраїчної точки зору. При розробці конструкцій для криптографічних алгоритмів дослідники намагаються підвищити алгебраїчний ступінь нелінійності їх складових булевих функцій.
- Відстань нелінійності, що характеризує ступінь дистанціювання булевої функції від множини булевих функцій, які вважаються лінійними [87]. В якості такого набору зазвичай використовується набір афінних функцій (кодових слів коду Ріда-Мюллера першого порядку). Однак для оцінки рівня нелінійності можна використовувати й інші конструкції, які вважаються лінійними. Наприклад, як такі конструкції можна використовувати квадратичні булеві функції [87]. Водночас існує два підходи до оцінки нелінійності заданої булевої функції: у часовій області та в області коефіцієнтів перетворення Уолша-Адамара.
- Кореляційний зв'язок між виходом і входом S-бок, який визначається статистичною залежністю виходу S-бок від його входу. Для кількісної оцінки рівня статистичної залежності використовується математичний апарат матриці коефіцієнтів кореляції [86] між векторами виходу та входу. До матриці коефіцієнтів кореляції можна застосувати такі показники якості криптографії:
 - а. Максимальне абсолютне значення елементів матриці коефіцієнтів кореляції між вихідним і вхідним векторами.
 - б. Кількість нульових елементів у матриці коефіцієнтів кореляції.
 Хороша якість шифру – це випадок, коли кожен з елементів матриці

- коефіцієнтів кореляції дорівнює нулю, що можливо, коли кожна з компонентних булевих функцій S-блоку є кореляційно стійкою [85].
- Критерій поширення помилки, який характеризує здатність криптографічної конструкції поширювати незначні зміни у вхідному тексті або ключовому елементі на весь зашифрований текст [84]. Існує критерій поширення помилки в напрямку певного вектора, який подається на вхід криптографічної структури як додатковий вплив, а також критерій поширення помилки заданого порядку. Чисельне визначення відповідності криптографічної конструкції критерію поширення помилки здійснюється на основі математичного апарату похідних булевих функцій [87]. Критерій поширення помилки першого порядку називається строгим лавинним критерієм (SAC). Зауважимо, що строгий лавинний критерій є досить жорсткою вимогою до криптографічних конструкцій, тому на практиці часто використовується критерій максимального лавинного ефекту, який виконується, якщо всі ваги всіх похідних компонентних булевих функцій у всіх напрямках ваги. 1 мають значення, що дорівнює принаймні половині довжини криптографічної конструкції [86]. Критерій розповсюдження помилок, критерій суворої лавинності та критерій максимального лавинного ефекту відіграють особливу роль не лише в теорії аналізу та синтезу симетричних блокових шифрів, але й у синтезі криптографічно стійких хеш-функцій [83].
 - Лінійна надмірність компонентних булевих функцій. Дослідження компонентних булевих функцій [81] деяких криптографічних примітивів, наприклад, конструкції Найберга [87], показує, що вони мають певний математичний зв'язок між собою. Цей зв'язок послаблює рівень плутанини, який може створити досліджуваний криптографічний примітив, і, відповідно, посилює можливості криптоаналітика для опису криптоалгоритму в цілому. У роботі запропоновано новий метод визначення еквівалентності компонентних булевих функцій, який

значно спрощує практичну задачу визначення афінної еквівалентності компонентних булевих функцій криптографічних конструкцій. Цей підхід базується на базовому визначенні елементарної структури. Таким чином, для зниження рівня лінійної надлишковості проектування криптографічних конструкцій слід виконувати таким чином, щоб їх складові булеві функції мали різну елементарну структуру.

Тим не менш, криптоаналітик не обмежений в обраному математичному апараті, за допомогою якого здійснюється представлення конструкцій криптографічного алгоритму з наступною атакою. Крім математичного апарату булевих функцій, що використовується при побудові криптографічних алгоритмів, представлення за допомогою 4-функцій, а також за допомогою 16-функцій, можна використовувати практично для всіх сучасних шифрів. У той же час розробники криптоалгоритмів зазвичай не враховують ці можливі уявлення і не досліджують їхню криптографічну якість. Ця обставина зумовлює необхідність побудови, розвитку та узагальнення критеріїв криптографічної якості та практичних аспектів їх використання для функцій багатозначної логіки.

З іншого боку, квантові комп'ютери динамічно розвиваються, що вже сьогодні дозволяє говорити про формування постквантових криптографічних методів, які будуть актуальні, коли будуть розвиватися квантові комп'ютери та здійснюватися з їх допомогою квантові атаки [78]. Зазначимо, що ключем сучасного симетричного криптографічного алгоритму є псевдовипадкова послідовність. Таким чином, при досить великій довжині ключа для атаки на криптоалгоритм необхідно використовувати атаку грубої сили або використовувати будь-яку структурну вразливість, на відміну від використання алгоритмічних атак, наприклад, з використанням алгоритму Шора [85], який може використовуватися для зламу асиметричних криптографічних алгоритмів. Цей факт робить особливо актуальним в умовах постквантової криптографії детальне дослідження та вдосконалення

структури криптографічних алгоритмів, будь-яких їх представлень, особливо за допомогою функцій багатозначної логіки.

Функція q -значної логіки k змінних є відображенням $\{0,1,2, \dots, q - 1\}^k \rightarrow \{0,1,2, \dots, q - 1\}$.

Функції багатозначної логіки є більш загальними математичними об'єктами, ніж булеві функції. Отже, для значення $q=2$ вищенаведене визначення є визначенням булевих функцій.

Багатозначна логіка є одним із досвідів розширення меж усвідомлення та формального опису логічних зв'язків реального світу. У загальноприйнятому значенні бінарної логіки Я. Лукасевич [86] звернув увагу на багатозначну логіку, яка є способом відображення різних відтінків інформації в реченнях. Так виник напрямок багатозначної логіки, в якому працювало багато відомих математиків, економістів, філософів, зацікавлених у підвищенні якості передачі інформації. Розглянемо, як S-блок довжини $N=16$, який практично використовується в сучасних криптоалгоритмах, можна представити не тільки за допомогою компонентних булевих функцій, а й за допомогою функцій багатозначної логіки (табл. 1).

Таблиця 1 – Представлення S-box за допомогою логічних і багатозначних логічних функцій

Q	4	7	2	14	1	13	8	11	15	12	6	10	5	9	3	0
f_{20}	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0
f_{21}	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0
f_{22}	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0
f_{23}	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0
f_{40}	0	3	2	2	1	1	0	3	3	0	2	2	1	1	3	0
f_{41}	1	1	0	3	0	3	2	2	3	3	1	2	1	2	0	0

Водночас конструкції таких криптоалгоритмів, як AES, Калина, BelT та ін., які мають довжину S-блоків $N=256$, можуть бути представлені за допомогою булевих функцій, 4-функцій та 16-функцій, тобто вони мають 3 можливі представлення функціями багатозначної логіки. Кожна зі складових q-функцій визначає криптографічну якість криптографічної конструкції в цілому і, відповідно, кожна з них повинна бути ретельно протестована. Таким чином, сьогодні існує об'єктивне протиріччя між розробленими методами атак на криптоалгоритми з можливим представленням їх структур функціями багатозначної логіки при одночасному розвитку перспективних методів атак з використанням квантових комп'ютерів та фактичною відсутністю комплексної математичного апаратура, призначена для оцінки криптографічної якості складових функцій багатозначної логіки та методи синтезу криптографічних структур, які є якісними з точки зору функцій багатозначної логіки. Вирішення цього протиріччя може бути отримано шляхом розробки методології оцінки та підвищення криптографічної стійкості на основі функцій багатозначної логіки. Представлена методологія оцінки криптографічної якості ґрунтується на таких критеріях криптографічної якості багатозначних логічних функцій у поєднанні з відповідними показниками криптографічної якості:

- Критерій алгебраїчного ступеня нелінійності функцій багатозначної логіки, який визначається на основі алгебраїчної нормальної форми, синтезованої за методом [86] над простим або розширеним полем Галуа. Водночас для порівняння алгебраїчних ступенів нелінійності введено показник відносного алгебраїчного ступеня нелінійності у відсотках від заданого ступеня нелінійності максимального значення, що дозволяє порівнювати алгебраїчні ступені нелінійності q-функцій різної довжини та для різних основ q. Більші значення відносного алгебраїчного ступеня нелінійності свідчать про більш високу якість криптографічної конструкції.

- Критерій нелінійності функцій багатозначної логіки, який визначається спектральним або часовим методом [85] за ступенем вмісту функцій Віленкіна-Крестенсона в досліджуваній складовій функції багатозначної логіки. Зважаючи на існування багатозначних логічних бент-функцій для довільної заданої кількості змінних k , для порівняння нелінійності q -функцій різної довжини та для різних баз q , показник відносної нелінійності q -функції було введено як відсоток нелінійності даної q -функції від нелінійності бент-функцій заданої довжини. Водночас більші значення відносної нелінійності свідчать про вищу якість криптографічної структури.
 - Критерій розповсюдження функцій багатозначної логіки та критерій суворої лавинності функцій багатозначної логіки, які визначаються дослідженням похідних функцій багатозначної логіки згідно з методикою [84]. Для оцінки ступеня відповідності та порівняння q -функцій різної довжини та для різних базисів q введено показники інтегрального та максимального відхилень від вимог SAC функцій багатозначної логіки. Менші значення максимального та інтегрального відхилень від вимог SAC свідчать про більш високу якість криптографічної конструкції.
4. Критерій кореляційної незалежності вихідного та вхідного векторів криптографічних структур [83], а також критерій незалежності вихідних значень функцій багатозначної логіки від їх вхідних змінних [81]. На основі запропонованого критерію незалежності виходу функцій багатозначної логіки від їх вхідних змінних визначено показники максимального та інтегрального відхилення від критерію незалежності виходу функцій багатозначної логіки від їх входу. введено, які зручні для чисельного оцінювання та порівняння q -функцій різної довжини та для різних базисів q . Менші значення максимального та інтегрального відхилень від критерію незалежності виходу функцій багатозначної логіки від їх входу свідчать про більш високу якість шифру. Описані критерії та засновані на них

показники криптографічної якості функцій багатозначної логіки дають можливість оцінити та порівняти криптографічні структури різних криптоалгоритмів. У той же час існує багато практичних прикладів, коли криптографічна конструкція є безпечною в термінах булевих функцій і має низьку якість в термінах функцій багатозначної логіки.

Наприклад, S-блок $S=\{12,7,14,9,1,4,8,3,2,6,5,11,15,10,13,0\}$ має значення відстані нелінійності 4 (66,7%, що є максимальним значенням для S-блоків такої довжини) компонентних булевих функцій, тоді як нелінійність 4-функцій становить лише 3,35 (27,92%). Або S-блок $S=\{4,7,2,14,1,13,8,11,15,12,6,10,5,9,3,0\}$, який, будучи оптимальним з точки зору строгого лавинного критерію в термінах булевих функцій, не є оптимальним з точки зору строгого лавинного критерію для компонентних 4-функцій.

Таким чином, актуальною видається задача проектування нових криптографічних конструкцій, які є криптографічно якісними не лише з точки зору їх представлення за допомогою булевих функцій, але й з точки зору їх представлення функціями багатозначної логіки. Оцінка криптографічної якості компонента багатозначної логіки для відомих криптографічних алгоритмів Розроблена методологія оцінки та підвищення криптографічної стійкості може бути застосована як для оцінки та порівняння криптографічної якості існуючих криптографічних алгоритмів, так і для розробки нових криптографічних примітивів і криптографічних алгоритмів. Далі ми використовуємо критерії та показники якості криптографії для оцінки та порівняння криптографічних властивостей таких відомих криптоалгоритмів, як AES, Kalyna, BelT та Kuzneshik, представлених за допомогою складових функцій багатозначної логіки. З огляду на те, що довжина досліджуваних структур підстановки розглянутих криптоалгоритмів становить $N=256$, їх можна представити у вигляді компонентних булевих функцій, 4-функцій, а також 16-функцій.

Як і у випадку застосування загальноприйнятого підходу до оцінки криптографічної якості на основі булевих функцій, загальна криптографічна якість структури визначається її найгіршою складовою q -функцією як найслабшою компонентою.

На рис. 2 наведено результати розрахунку показників криптографічної якості функцій багатозначної логіки розглянутих криптоалгоритмів.

Загальною тенденцією є зростання алгебраїчного ступеня нелінійності існуючих криптоалгоритмів, коли вони представлені компонентними q -функціями з більшими базами q . Найбільше зростання демонструють BelT і Kuzneshik (з 87,5% для булевих функцій до 96,67% для 16-функцій), найменше зростання демонструють BSC AES і Калина (від 87,5% для булевих функцій до 93,33% для 16-функцій).

Поведінка нелінійності складових функцій для різних базисів q залежить від якості S -блоку, що використовується в криптографічних алгоритмах. У той же час BSC BelT і Kuzneshik демонструють збільшення нелінійності при представленні функціями багатозначної логіки (BelT: від 86,67% для булевих функцій до 93,09% для 16-функцій, Kuzneshik: від 85% для булевих функцій до 86,89% для 16-функцій), тоді як BSC Kalyna демонструє найбільше зниження нелінійності, коли представлено функціями багатозначної логіки (від 86,67% для булевих функцій до 83,82% для 16-функцій), що вказує на меншу плутанину, ніж цей BSC надає в термінах багатозначних логічних функцій.

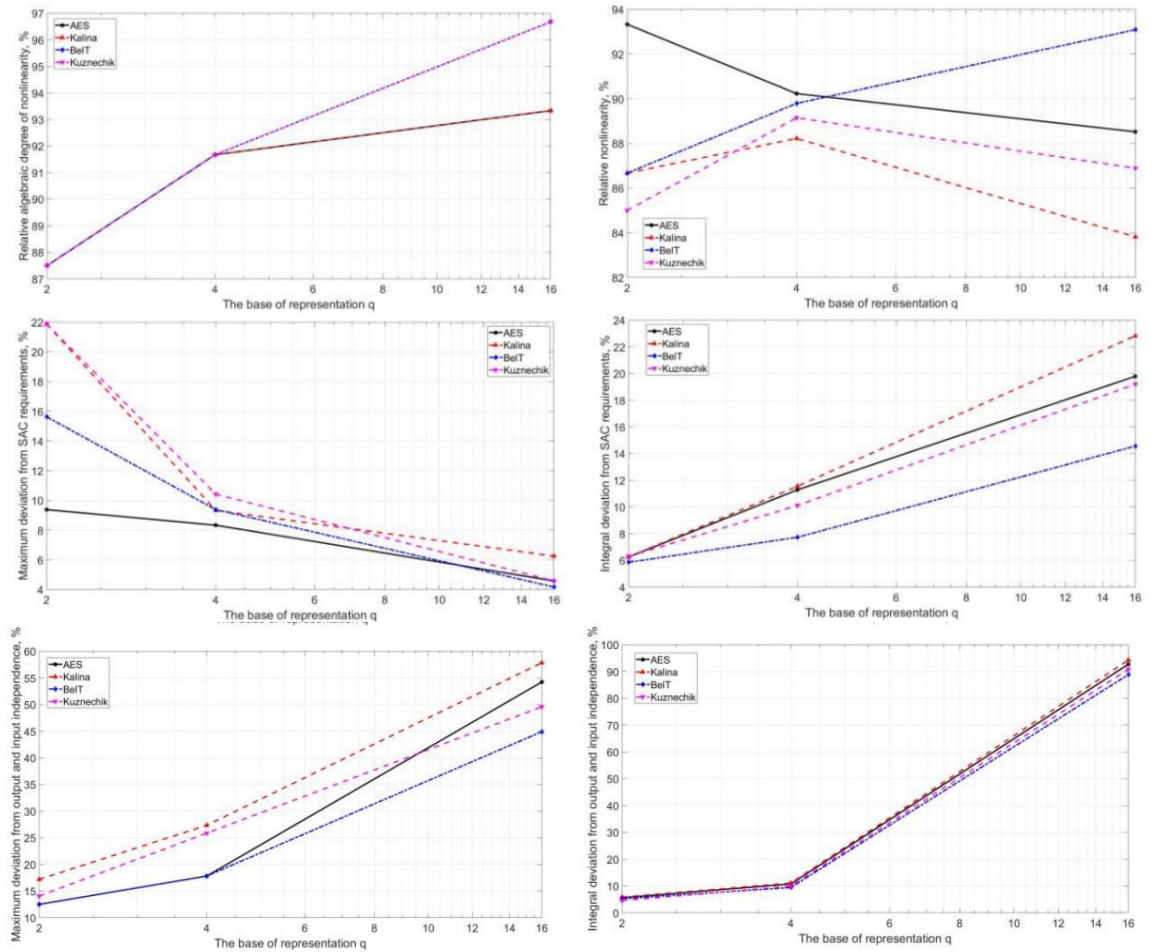


Рисунок 2 – Результати розрахунку показників криптографічної якості розглянутих криптоалгоритмів багатозначних логічних складових функцій

Для AES-подібних криптографічних алгоритмів існує загальна тенденція до зменшення максимального відхилення від SAC зі збільшенням бази q представлення компонентних функцій. При цьому найбільше зниження максимального відхилення від SAC демонструє BSC BelT (з 15,63% для булевих функцій до 4,17% для 16-функцій), а найменше – для BSC Kalyna (з 21,88% для булевих функцій до 6,25% для 16 функцій). Існує також загальна тенденція до збільшення інтегрального відхилення від SAC зі збільшенням бази представлення q . При цьому найменший приріст відхилення від SAC демонструє BSC BelT (від 5,86% для булевих функцій до 14,56% для 16-ти

функцій), а найбільший приріст – BSC Kalyna (від 6,25% для Логічні функції до 22,81% для 16 функцій).

Для AES-подібних криптоалгоритмів також існує загальна тенденція до зростання максимального відхилення від критерію незалежності виходу компонентних функцій від вхідних змінних із зростанням бази q представлення компонентних функцій. При цьому найменший приріст відхилення демонструє БСК BelT (від 12,5% для булевих функцій до 44,9% для 16-функцій), а найбільший приріст – БСК Kalyna (від 17,19% для булевих функцій до 57,82% для 16 функцій). Зростає також інтегральне відхилення від критерію незалежності виходу складових функцій від вхідних змінних. Найменший приріст відхилення демонструє BSC BelT (від 5,27% для булевих функцій до 88,8% для 16-функцій), найбільший приріст демонструє BSC Kalyna (від 5,88% для булевих функцій до 94,21% для 16-функцій).

3.3 Опис етапів планування оцінки безпеки

Правильне планування має вирішальне значення для успішної оцінки безпеки. У цьому розділі наведено рекомендації щодо створення політики оцінювання, визначення пріоритетів та планування оцінок, вибору відповідного підходу до оцінки та вирішення логістичних міркувань. Він також надає рекомендації щодо розробки плану оцінки та викладає юридичні міркування, пов'язані з оцінкою, які організаціям може знадобитися розглянути.

3.3.1 Розробка політики оцінки безпеки

Організації повинні розробити політику оцінки інформаційної безпеки, щоб забезпечити напрям і вказівки для їх оцінки безпеки. Ця політика повинна визначати вимоги до оцінки безпеки та притягувати до відповідальності тих

осіб, відповідальних за забезпечення відповідності оцінок вимогам [88]. Він має стосуватися:

Організаційні вимоги, яким мають відповідати оцінки

Відповідні ролі та відповідальність (як мінімум, для тих осіб, які схвалюють та виконують оцінки)

Дотримання встановленої методики

Частота оцінювання

Вимоги до документації, наприклад плани оцінювання та результати оцінювання.

Після розроблення та схвалення відповідними вищими посадовими особами політику слід розповсюдити серед відповідного персоналу, який може включати офіси головного інформаційного директора (CIO), головного директора з інформаційної безпеки (CISO) та головного спеціаліста з технологій (CTO). Керівництво також має повідомити про політику будь-яким третім сторонам, які мають проводити оцінку.

Рекомендується, щоб організації переглядали свою політику оцінювання принаймні раз на рік та щоразу, коли виникають нові вимоги, пов'язані з оцінкою. Ці перевірки визначають продовження застосування політики, врахують усі необхідні зміни та нададуть можливості для врахування набутих уроків.

3.3.2 Розставлення пріоритетів та планування оцінок

У рамках планування організації повинні вирішити, які системи повинні проходити технічні оцінки безпеки та як часто ці оцінки мають проводитися. Це визначення пріоритетів засноване на класифікації системи, очікуваних вигод, вимогах до планування та застосовних нормативних актах, де оцінка є вимогою. Гарною відправною точкою є оцінка категоризації системи та пов'язаних з нею вимог до оцінки безпеки. Тут необхідна оцінка рейтингу впливу системи (наприклад, низький, помірний, високий) і статусу оцінки

безпеки (наприклад, коли оцінка проводилася востаннє), щоб визначити графік руху вперед. Наприклад, організації повинні, як правило, оцінювати систему з високим впливом перед системою з помірним впливом, але систему з помірним впливом, яка прострочена, може знадобитися оцінити перед системою з високим рівнем впливу, чия остання оцінка безпеки все ще проходить у прийнятні терміни. У рамках безперервного моніторингу ряд засобів контролю безпеки NIST SP 800-53 також необхідно постійно перевіряти [89].

Частота оцінки часто визначається вимогами організації щодо демонстрації відповідності конкретним нормам або політикам. Наприклад, FISMA вимагає періодичного тестування залежно від ризику, яке має проводитися принаймні раз на рік. NIST SP 800-53 і 800-53A надають організаціям рекомендації щодо частоти проведення оцінок безпеки. Оскільки оцінка забезпечує миттєвий знімок безпеки на певний момент часу, організації можуть вимагати більш частих оцінок.

Важливі технічні міркування також можуть допомогти визначити частоту тестування. Наприклад, якщо вважається, що система має кілька недоліків, тестування може бути проведено раніше, щоб підтвердити наявність недоліків, або відкласти до тих пір, поки слабкі сторони не будуть пом'якшені, щоб підтвердити їх усунення. Використовуваний час залежить від мети тестування. Іншим міркуванням є те, чи може будь-яка системна або мережева діяльність, що вимагається для тестування, вплинути на функціональність або безпеку середовища – наприклад, якщо має бути проведено велике оновлення, тестування може бути відкладено до завершення оновлення. Інший приклад технічного розгляду – це коли організація хоче ідентифікувати несправні пристрої в дротових мережах [88]. Це можна досягти за допомогою одного або кількох методів, наприклад, виявлення мережі за допомогою пасивного аналізу або активного сканування, або перегляду даних, зібраних програмним забезпеченням для керування мережею, датчиками виявлення вторгнення в мережу або іншими пристроями, які регулярно відстежують мережеву

активність. Якщо ці пристрої моніторингу можуть генерувати сповіщення, як тільки новий, потенційно несправний пристрій буде помічено в мережі, може бути незначною потребою проводити періодичне тестування несправних пристроїв, оскільки ефективне тестування постійно проводиться.

Організації також повинні ретельно продумати доступність ресурсів. Спочатку слід визначити ресурси для систем з високим пріоритетом, після чого системи з нижчим пріоритетом можуть бути перевірені з меншою частотою та в порядку спадання. Якщо існує розрив між необхідними та наявними ресурсами, організації може знадобитися виділити додаткові ресурси та розглянути можливість зменшення обсягу запланованих оцінок. Приклади елементів визначення обсягу, які можуть бути релевантними, включають:

- Розмір того, що оцінюється, з точки зору кількості компонентів (наприклад, єдиної бази даних, усіх систем користувача або всієї архітектури) та розміру мережі (наприклад, локальної мережі [LAN] або глобальної мережі [WAN]), кількості мережеві розташування, до яких тестувальник повинен буде фізично підключитися для тестування).
- Складність того, що оцінюється. Більш неоднорідні середовища, як правило, вимагають більшої кількості ресурсів, оскільки потрібні більш різноманітні набори навичок та інструменти.
- Можливість використання вибірки для оцінки разом із розміром вибірки та її складом. Наприклад, може бути набагато ефективніше – і майже так само – сканувати портами невелику вибірку хостів, а не тисячі хостів, особливо якщо хости керовані й налаштовані подібним чином.
- Рівень ресурсів, необхідних для проведення конкретних методів тестування або експертизи. Наприклад, кваліфікованому експерту може знадобитися багато годин, щоб переглянути повну документацію з безпеки системи.
- Необхідний рівень взаємодії людей. Наприклад, якщо оцінювачі працюватимуть у парі з ІТ-персоналом, це може слугувати формою

навчання для ІТ-персоналу, але, ймовірно, збільшить час, необхідний для завершення оцінювання, порівняно з часом, необхідним для експертів та ІТ-персоналу, які працюють незалежно.

3.3.3 Вибір і налаштування техніки

Існує багато факторів, які слід враховувати при визначенні, які методи технічного тестування та експертизи слід використовувати для конкретної оцінки. Організація повинна спочатку визначити свої цілі оцінки, наприклад зосередитися на перевірці відповідності певному мандату, перевірці безпеки системи в рамках діяльності з сертифікації та акредитації (С&А), виявлення вразливостей, які можна використовувати в групі систем, або оцінки системи виявлення вторгнень і продуктивність процедури обробки інцидентів. Далі організація повинна вибрати класи методів (наприклад, огляд, ідентифікація та аналіз цілі, перевірка цільової вразливості), які будуть використовуватися для отримання інформації, яка підтримує ці цілі, а також конкретні методи в кожному вибраному класі [90]. Для деяких методів тестування організація також повинна визначити точку зору оцінювачів (наприклад, внутрішню чи зовнішню, приховану чи явну) та вибрати відповідні методи.

Оскільки в більшості випадків для досягнення цілі оцінки можна використовувати більше ніж одну методику, організації повинні визначити, які методи найкраще підходять для кожного випадку. Як обговорювалося в Розділі 3.2, одним із важливих міркувань є ресурси – деякі методи можуть коштувати значно дорожче, ніж інші, через типи необхідних інструментів і кількість годин необхідного часу персоналу. Виконання деяких методів також може зайняти занадто багато часу – якщо для проведення оцінки є короткий час, можуть знадобитися менш обширні або ресурсомісткі методи, наприклад, сканування вразливостей, а не тест на проникнення. Навички є ще одним важливим фактором у виборі техніки – наприклад, організація може не мати в

штаті експертів з відповідними навичками для використання певних спеціалізованих методів.

Організації також повинні уважно враховувати ризик при виборі методів тестування. Деякі методи, такі як тестування на проникнення, можуть призвести до втрати доступності системи або розкриття конфіденційних даних. У деяких випадках організаціям слід подумати, чи слід проводити тестування на виробничих системах або аналогічно налаштованих невиробничих системах, якщо такі альтернативні системи доступні, або обмежити використання певних методів у неробочий час, щоб мінімізувати вплив на роботу. Фактори, які слід оцінити під час прийняття таких рішень, включають:

- Можливий вплив на виробничі системи. Наприклад, якщо певна методика тестування може викликати відмову в обслуговуванні, її, ймовірно, слід використовувати проти невиробничої системи.
- Наявність конфіденційної персональної інформації (PII). Якщо тестування може виявити конфіденційні ідентифікаційні дані (наприклад, номери соціального страхування (SSN) або інформацію про кредитні картки) особам, які не мають доступу, організаціям слід розглянути можливість проведення свого тестування на невиробничій системі з фальшивою версією PII (наприклад, тестові дані замість фактичних ідентифікаційних даних).
- Наскільки однаково можна налаштувати виробничу та невиробничу системи. На практиці зазвичай існують невідповідності між тестовим і виробничим середовищем, що може призвести до пропущених вразливостей, якщо використовуються невиробничі системи.

Організації часто використовують комбінацію методів для досягнення поглибленої оцінки безпеки, підтримуючи прийнятний рівень ризику для систем і мереж. Нетехнічні прийоми можуть використовуватися замість або на додаток до технічних прийомів; багато оцінок використовують комбінацію нетехнічних і технічних прийомів [88].

Наведені нижче приклади показують, як багато технічних методів можуть доповнювати один одного і як вибір методів може пов'язати з ризиком. Ці приклади призначені як ілюстрації, а не як рекомендовані комбінації методів для оцінки організацій. Кожен випадок індивідуальний, і організації повинні оцінювати вимоги та цілі кожної оцінки при визначенні відповідної комбінації методів.

Визначте технічні недоліки в архітектурі та конфігурації безпеки системи, мінімізуючи ризики від самої оцінки.

Крок 1. Огляд документації. Визначте слабкі місця політики та процедур, а також недоліки архітектури безпеки.

Крок 2. Перевірка набору правил і конфігурації безпеки. Визначте відхилення від організаційної політики безпеки у формі архітектури мережевої безпеки системи та недоліків системи безпеки.

Крок 3. Бездротове сканування. Визначте незаконні бездротові пристрої поблизу системи та додаткові недоліки архітектури безпеки, пов'язані з бездротовими мережами, які використовуються системою.

Крок 4. Виявлення мережі та сканування уразливостей. Визначте всі активні хости в системі та їх відомі вразливості.

Визначте та перевірте технічні недоліки архітектури та конфігурації безпеки системи – перевірка включатиме спроби використання вибраних уразливостей [89].

Крок 1. Огляд набору правил і конфігурації безпеки. Визначте відхилення від організаційної політики безпеки у формі архітектури мережевої безпеки системи та недоліків системи безпеки.

Крок 2. Виявлення мережі та сканування уразливостей. Визначте всі активні хости в системі та їх відомі вразливості.

Крок 3. Тест на проникнення за допомогою соціальної інженерії. Перевірка вразливостей у системі.

Визначте та перевірте технічні недоліки в архітектурі безпеки системи та конфігурації безпеки з точки зору зовнішнього зловмисника – перевірка

включатиме спробу використання деяких або всіх уразливостей. Оцініть ефективність аудиторських можливостей організації щодо атак на систему.

Крок 1. Тестування зовнішнього проникнення. Виконуйте виявлення зовнішньої мережі, сканування портів, сканування вразливостей і атаки, щоб виявити та перевірити вразливості системи.

Крок 2. Огляд журналу. Перегляньте журнали аудиту контролю безпеки для системи, щоб визначити їх ефективність у зборі інформації, пов'язаної з діяльністю зовнішнього тестування на проникнення.

3.3.4 Логістика оцінки

Звернення до логістики для технічних оцінок включає визначення всіх ресурсів, необхідних для проведення оцінки; середовище, з якого проводиться тестування; і необхідні інструменти для тестування апаратного та програмного забезпечення. Вони розглядаються в підрозділах нижче [89].

На додаток до стандартних логістичних вимог, які розглядаються нижче, не менш важливо визначити логістичні вимоги для кожного тесту на етапі планування. Залежно від обсягу та середовища, окремі тести можуть мати додаткові матеріально-технічні вимоги, такі як подання запиту на відвідування зовнішньої тестової групи, доставка обладнання на об'єкт для проведення тестування та планування місцевих або міжміських подорожей. Ці потреби слід вирішувати в кожному окремому випадку під час процесу планування.

3.3.5 Розробка плану оцінки

План оцінки забезпечує структуру та підзвітність шляхом документування заходів, запланованих для оцінки, разом з іншою відповідною інформацією. NIST SP 800-53A надає додаткову інформацію про плани оцінювання та розглядає кілька окремих кроків, які оцінювачі повинні враховувати при розробці плану. Такими кроками є:

Визначення типу оцінки контролю безпеки;

Визначення засобів контролю безпеки та покращень контролю, які будуть включені в оцінку

Вибір відповідних процедур оцінки, які будуть використовуватися під час оцінки на основі засобів контролю безпеки та покращень контролю в плані безпеки системи

Пристосування вибраних процедур оцінки до рівня впливу інформаційної системи та робочого середовища організації

Розробка додаткових процедур оцінки, якщо необхідно, для вирішення інших засобів контролю безпеки та вдосконалення контролю

Розробка стратегії застосування розширеної процедури оцінки

Оптимізація процедур оцінки для зменшення дублювання зусиль і забезпечення економічно ефективних рішень для оцінки

Завершення плану оцінки та отримання схвалень, необхідних для його виконання.

Кожне оцінювання має бути розглянуто в плані оцінювання, незалежно від обсягу, рівня нав'язливості або сторони, яка виконує тест (тобто внутрішня сторона, третя сторона). Цей план передбачає правила та межі, яких повинні дотримуватися експерти, і захищає організацію, зменшуючи ризик інцидентів, таких як випадкове порушення роботи системи або ненавмисне розкриття конфіденційної інформації. Плани оцінювання також захищають групу тестування, гарантуючи, що керівництво організації розуміє та погоджується з обсягом, видами діяльності та обмеженнями оцінювання [88]. Розробка плану оцінки має бути спільним процесом між оцінювачами та ключовими членами групи безпеки організації.

План оцінки повинен відповідати на ці основні запитання:

Який обсяг оцінки?

Хто уповноважений проводити оцінку?

Яка логістика оцінки?

Як слід обробляти конфіденційні дані?

Що має статися в разі інциденту?

План оцінки повинен визначати, які системи та мережі мають право на перевірку та тестування. Це можна зробити, надавши кількість систем та IP-адреси або діапазони адрес, які вони використовують. У плані також повинні бути перераховані конкретні системи – як мінімум за IP-адресою, а бажано також за назвою системи, – які не мають дозволу на перевірку чи тестування. Наприклад, якщо база даних зарплати організації вважається надто важливою для певного типу тестування, ім'я системи та IP-адреса повинні бути включені до списку виключень плану оцінки. Якщо організація не контролює частину або всю її мережу, наприклад, якщо частина її систем розміщена в мережі третьої сторони, власник іншої мережі зазвичай також повинен письмово погодитися на план оцінки. Подібна ситуація стосується систем, спільних для організацій, наприклад системи, що використовує технологію віртуальних машин для надання послуг кільком організаціям. Підписуючи план оцінки, всі сторони підтверджують і схвалюють оцінку.

Окрім визначення того, які системи дозволені для оцінки, план оцінки також має детально вказати тип та рівень дозволеного тестування. Наприклад, якщо організація бажає провести оцінку вразливості, план оцінки повинен містити інформацію про дії, дозволені для виконання в цільовій мережі, наприклад ідентифікацію портів і сервісів, сканування вразливостей, перевірку конфігурації безпеки та злом паролів, із достатньою кількістю деталей. щоб описати тип тестування, підхід та інструменти [90]. Наприклад, якщо буде використовуватися злом паролів, метод, за допомогою якого паролі будуть отримані (наприклад, перехоплені з мережі або скопійовані з файлу паролів ОС), слід включити в план оцінки. У плані також має бути чітко зазначено будь-яку заборонену діяльність (наприклад, створення та модифікацію файлів) у спосіб, який не залишає місця для інтерпретації. Якщо під час оцінювання виникають питання щодо обсягу та рівня повноважень, експерти та визначені контактні особи організації мають зустрітися для їх обговорення.

План також повинен включати логістичні деталі завдання, включаючи години роботи експертів; необхідний рівень дозволу або перевірки справ; план дзвінків із поточною контактною інформацією, мережевими центрами та центрами безпеки, а також основним контактним пунктом організації для оцінки; фізичне місце, де почнеться оцінка; а також обладнання та інструменти, які будуть використовуватися для проведення оцінки. Будь-які вимоги щодо інформування батьківських організацій, правоохоронних органів та групи реагування на комп'ютерні інциденти (CIRT) мають бути визначені в плані оцінки. Крім того, слід визначити особу, відповідальну за інформування організацій про очікувану оцінку безпеки. У разі прихованого або іншого неоголошеного тестування план оцінки також повинен визначати, як слід обробляти тестову активність, виявлену та повідомлену співробітниками служби безпеки організації, CIRT та іншими, включно з процесами ескалації, яких слід дотримуватися. Основною метою цього є забезпечення того, щоб діяльність з оцінки не викликала повідомлення про порушення безпеки зовнішнім сторонам, таким як зовнішні групи реагування на інциденти.

IP-адреси комп'ютерів, з яких проводитиметься оцінка, мають бути визначені в плані оцінки, щоб дати адміністраторам можливість відрізнити такі дії, як атаки тестування на проникнення, від фактичних шкідливих атак. Якщо це доречно для цілей оцінки, адміністратори безпеки можуть налаштувати системи виявлення вторгнень та інші пристрої моніторингу безпеки, щоб ігнорувати активність, створену цими IP-адресами під час тестування [89].

Вимоги щодо обробки даних повинні бути враховані в плані оцінки, включаючи:

- Зберігання організаційних даних під час оцінювання в системах оцінювачів, включаючи фізичну безпеку систем, паролі та шифрування даних
- Зберігання даних після завершення оцінки, щоб відповідати вимогам довгострокового зберігання або відстеження вразливостей

- Передача даних під час або після оцінки через внутрішні або зовнішні мережі (наприклад, Інтернет)
- Видалення даних із систем після завершення оцінки, зокрема, для оцінок третьої сторони, які включають посилання на конкретні вимоги, встановлені політикою або процедурами керівної організації.

Нарешті, план оцінки повинен містити конкретні вказівки щодо поводження з інцидентами у випадку, якщо оцінювачі викликають або виявляють інцидент під час оцінки. У цьому розділі плану слід визначити термін інцидент і надати вказівки для визначення того, стався інцидент чи ні. У плані повинні бути визначені конкретні основні та альтернативні точки контакту для експертів, як правило, керівника групи оцінювання та помічника керівника групи, а також групи безпеки організації. Повинні бути включені рекомендації, які чітко вказують на дії, які мають вжити як оцінювачі, так і група безпеки організації після визначення того, що інцидент стався. Наприклад, якщо експерти виявлять фактичного зловмисника або сліди зловмисника в мережі, чи варто припинити тестування? Якщо так, то коли тестування може розпочатися – і з чий повноваження? План оцінки повинен містити чіткі інструкції щодо того, які дії оцінювачам слід вжити в таких ситуаціях [88].

Деякі оцінки використовують ROE на додаток до або замість плану оцінки. ROE містить ту саму інформацію в плані оцінки, а також стосується заходів з тестування, які зазвичай заборонені організацією. Наприклад, деякі дії, які часто виконуються під час тестування на проникнення, такі як атаки на компрометовані системи, зазвичай заборонені політикою організації. ROE надає право оцінювачам проводити таку діяльність як частину процесу оцінювання.

Кожна організація повинна визначити, коли слід використовувати плани оцінки та/або ROE. Організації також повинні розглянути питання про розробку планів центральної оцінки, шаблонів ROE або часткових проектів, і вимагати їх використання для сприяння узгодженості.

3.3.6 Правові міркування

Перед початком оцінки слід розглянути оцінку потенційних правових проблем для оцінки. Хоча залучення юридичних радників залишається на розсуд організації, рекомендується, щоб вони завжди залучалися до інтрузивних тестів, таких як тестування на проникнення. Якщо організація уповноважує зовнішню організацію проводити оцінку, можуть бути залучені юридичні відділи кожної організації. Ці відділи можуть допомагати в перегляді плану оцінки та забезпеченні положень про відшкодування чи обмеження відповідальності в контрактах, які регулюють оцінку безпеки – особливо для типів тестів, які вважаються нав'язливими. Юридичний відділ також може вимагати від зовнішніх організацій підписати угоди про нерозголошення, які забороняють оцінювачам розголошувати будь-яку конфіденційну, конфіденційну або іншим чином обмежену інформацію несанкціонованим організаціям.

Юридичний відділ також має вирішити будь-які проблеми з конфіденційністю, які можуть виникнути в організації. Більшість організацій мають банери з попередженнями або підписані користувачькі угоди, які повідомляють, що їхні системи контролюються, попереджаючи, що особи погоджуються на моніторинг шляхом використання ними системи. Однак не в усіх організаціях вони є, і юридичний відділ повинен розглянути можливі порушення конфіденційності до початку оцінки [90]. Крім того, зібрані дані можуть включати конфіденційні дані, які не належать організації, або особисті дані співробітників, що може викликати занепокоєння щодо конфіденційності. Оцінювачі повинні знати про ці ризики та здійснювати захоплення пакетів відповідно до вимог, встановлених юридичним відділом. Юридичний відділ також може визначити вимоги до обробки даних для забезпечення конфіденційності даних (наприклад, уразливості).

3.4 Дослідження надійності ключового файлу

Любий, навіть правильно обраний пароль не забезпечує раціональне використання криптографічної стійкості сучасних криптоалгоритмів, наприклад, AES.

Для вирішення цієї проблеми раціональним є використання ключових файлів.

3.4.1 Ключовий файл

Ключовий файл – це ключ криптографічного алгоритму, збережений як файл.

Для того, щоб зрозуміти особливості застосування файлів у вигляді ключів під час криптографічного захисту інформації, ми повинні розглянути кілька основних визначень теорії інформації.

Під інформацією розуміють сукупність відомостей про явища, процеси, події, факти тощо, які сприймає людина чи інший одержувач у процесі життєдіяльності та роботи.

Одне з основних положень статистичної теорії зв'язку полягає в тому, що кількість відомостей слід вимірювати деякою універсальною мірою, придатною для різноманітних видів повідомлень. Кількісну міру інформації найпростіше ввести з прикладу передачі дискретних повідомлень [91].

Якщо алфавіт джерела складається з m символів, а кожне повідомлення, яке створюється джерелом містить n символів, тоді загальна кількість можливих повідомлень

$$N = m^n$$

Кількість можливих дискретних повідомлень – найпростіша характеристика джерела дискретних повідомлень.

Загальна кількість різноманітних повідомлень можна було б використовувати як деяку інформаційну характеристику джерела повідомлень, але вона незручна, оскільки має статечний характер залежності N від n . У 1928 р. Ральф Хартлі запропонував як кількісний захід інформації прийняти логарифмічну функцію N . У цьому випадку кількість інформації, що міститься в одному повідомленні

$$I = \log_2 N = n \log_2 m$$

Цей захід добре узгоджується з нашим інтуїтивним поняттям про те, що в k разів довше повідомлення має містити в k разів більше інформації.

Найпростіше джерело повідомлень буде таким, для якого $m = 2$, а $n = 1$; тоді, якщо прийняти основу логарифму рівну 2, отримаємо основну двійкову одиницю кількості інформації – біт: $I = \log_2 m = \log_2 2 = 1$ біт.

Таким чином, якщо всього існує $265 = 11881376$ латинських слів і 5 літер, то відповідно до формули Хартлі, кількість інформації, яка несе кожне таке слово складає

$$I = \log_2 11881376 = 23.5022 \text{ біт}$$

Проте формула Хартлі не відображає випадкового характеру формування повідомлень. Щоб усунути цей недолік, необхідно зв'язати кількість інформації у повідомленнях із ймовірностями появи символів.

Справді, кожен файл характеризується своїм ансамблем A символів, які зображуються разом із ймовірностями їх вибору

$$A = \left(\begin{array}{cccc} a_1, & a_2, \dots, & a_i, \dots, & a_m \\ p(a_1), & p(a_2), \dots, & p(a_i), \dots, & p(a_m) \end{array} \right), \quad \sum_{i=1}^m p(a_i) = 1$$

У реальних файлах є переважання ймовірностей поява одних символів проти іншими, а й переважання появи одних об'єднань символів проти іншими об'єднаннями.

Тим не менш, для того, щоб набрати бітову статистику файлу, нам необхідні більш досконалі інструменти [92].

Наприклад, можна скласти програму, за допомогою мови програмування Python, отримання певного файлу (рис. 3). Візьмемо перший-ліпший файл на комп'ютері: index.html. Зрозуміло, що файли представлені у двійковій системі числення, тому можливі символи алфавіту – 0 і 1.

```
one_byte = 1
B = 0

with open(file_path, "rb") as file:

    byte = file.read(one_byte)
    while byte != b"":
        byte = bin(int(byte.hex(), base=16))[2:].zfill(8)
        B += B + byte
        byte = file.read(one_byte)
```

Рисунок 3 – Програма отримання певного файлу

Тепер ми можемо підраховувати кількість символів 0 і 1 в даних, що зчитуються нами (рис. 4).

```
zero = '0'
one = '1'
one_byte = 1
val_zero = 0
val_one = 0

with open(file_path, "rb") as file:
    byte = file.read(one_byte)
    while byte != b"":
        byte = bin(int(byte.hex(), base=16))[2:].zfill(8)
        val_zero += byte.count(zero)
        val_one += byte.count(one)
        byte = file.read(one_byte)
```

Рисунок 4 – Програмна реалізація підрахунку кількості символів 0 і 1

Розділивши підраховану кількість 0 та 1 на кількість біт у нашому файлі ми отримуємо ймовірність появи у файлі символу 0 та 1 (рис. 5).

```

zero = '0'
one = '1'
eight_bit = 8
one_byte = 1
val_zero = 0
val_one = 0
val_bit = 0
with open(file_path, "rb") as file:
    byte = file.read(one_byte)
    while byte != b"":
        byte = bin(int(byte.hex(), base=16))[2:].zfill(8)
        val_zero += byte.count(zero)
        val_one += byte.count(one)
        val_bit += eight_bit
        byte = file.read(one_byte)
p_zeros = val_zero / val_bit
p_ones = val_one / val_bit
logging.info("Probability of zeros: " + str(p_zeros))
logging.info("Probability of ones: " + str(p_ones))

```

Рисунок 5 – Програмна реалізація підрахунку ймовірності появи у файлі символу 0 та 1

Таким чином, ми маємо такі ймовірні характеристики нашого файлу

$$A = \begin{Bmatrix} a_1 & a_2 \\ p(a_1) & p(a_2) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 & 1 \\ 0.58 & 0.42 \end{Bmatrix}$$

Зазначимо, різні типи файлів характеризуються різними ймовірностями появи символів.

Вперше інформаційну характеристику повідомлень, що характеризуються різними ймовірностями появи символів, запропонував Клод Шеннон у 1946 р [91].

Якщо ймовірності появи всіх символів однакові, кількість інформації, яку переносить один символ: $I_1 = \log m$

Ймовірність появи символів: $P = 1/m$, отже, $m = 1/p$

Підставивши це значення m у формулу для I_1 , отримуємо: $I = -\log p$

У реальних повідомленнях символи a_i з'являються з різними ймовірностями $p(a_i)$, тоді кількість інформації, яка переносить символ a_i , визначається як: $I_1 = -\log p(a_i)$

Вочевидь, що менш ймовірні повідомлення несуть більше інформації та навпаки.

3.4.2 Інформаційна ентропія файлу

Реалізуємо код програми, яка розраховує для заданого файлу кількість інформації, що міститься у символах 0 та 1 (рис. 6).

```

zero = '0'
one = '1'
eight_bit = 8
one_byte = 1
val_zero = 0
val_one = 0
val_bit = 0
with open(file_path, "rb") as file:
    byte = file.read(one_byte)
    while byte != b"":
        byte = bin(int(byte.hex(), base=16))[2:].zfill(8)
        val_zero += byte.count(zero)
        val_one += byte.count(one)
        val_bit += eight_bit
        byte = file.read(one_byte)
info_zeros = -math.log2(val_zero / val_bit)
info_ones = -math.log2(val_one / val_bit)
logging.info("Amount of info in zeros: " + str(info_zeros))
logging.info("Amount of info in ones: " + str(info_ones))

```

Рисунок 6 – Програмна реалізація розрахунку для заданого файлу кількості інформації, що міститься у символах 0 та 1

При вирішенні більшості практичних завдань необхідно знати середню кількість інформації $H(A)$, яка припадає на один символ алфавіту, яка визначається шляхом усереднення $-\log_2 p(a_i)$ по всій множині (об'єму) алфавіту

$$H(A) = M\{-\log_2 p(a_i)\} = - \sum_{i=1}^m p(a_i) \log_2 p(a_i) \left[\frac{\text{біт}}{\text{СИМВОЛ}} \right]$$

Даний вираз відомий теоретично зв'язку як формула Шеннона для ентропії джерела дискретних повідомлень. Ентропія сприймається як міра невизначеності у формуванні джерелом тієї чи іншої повідомлення (літери).

Спосіб вимірювання кількості інформації, запропонований К. Шенноном, є узагальненням способу Хартлі у разі появи нерівноймовірних незалежних символів.

Змінимо нашу програму так, щоб вони підраховували інформаційну ентропію файлів а також зробимо повноцінну утиліту за допомогою якої можливо підібрати надійний ключовий файл [93].

Таким чином основний компонент програми, функція підрахунку ентропії файлу буде виглядати як показано на рисунку 7.

```
import math
import logging
def entropy(file_path):
    logging.info("Calculating entropy for file: " + str(file_path))
    zero = '0'
    one = '1'
    eight_bit = 8
    one_byte = 1
    val_zero = 0
    val_one = 0
    val_bit = 0
    with open(file_path, "rb") as file:
        byte = file.read(one_byte)
        while byte != b"":
            byte = bin(int(byte.hex(), base=16))[2:].zfill(8)
            val_zero += byte.count(zero)
            val_one += byte.count(one)
            val_bit += eight_bit
            byte = file.read(one_byte)
    result = -(val_zero / val_bit) * math.log2(val_zero / val_bit) - (val_one / val_bit) *
    math.log2(val_one / val_bit)
    logging.info("Total zeros: " + str(val_zero))
    logging.info("Total ones: " + str(val_one))
    logging.info("Total bits: " + str(val_bit))
    logging.info("Entropy value: " + str(result))
    return result
```

Рисунок 7 – Програмна реалізація функції підрахунку ентропії файлу

Як безперервна функція ймовірності появи символів, ентропія має такі властивості:

Ентропія джерела дискретних повідомлень є величина речова, не негативна та обмежена: $0 \leq H(A) < \infty$

Ентропія джерела дискретних повідомлень максимальна, коли символи рівноймовірні тобто:

$$H(A) = - \sum_{i=1}^m p(a_i) \log_2 p(a_i) = H_{max}(A) = \log_2 m$$

якщо $p(a_i) = 1/m$, $I = \overline{1, m}$

Отже, файли характеризуються такими інформаційними характеристиками, що базуються на ентропії:

$H(A)$ – ентропія джерела – середня кількість інформації, що включає один символ алфавіту;

p - надмірність джерела повідомлень;

I – кількість інформації, що міститься у повідомленні;

Розглянемо докладніше ці параметри.

Надмірністю називають відношення різниці між максимально можливою та реальною ентропією $H(A)$ [93] джерела до максимальної ентропії

$$\rho = \frac{H_{\max} - H(A)}{H_{\max}} = 1 - \frac{H(A)}{\log m}$$

Надмірність визначає також, наскільки сильно може бути стиснутий файл.

Кількість інформації, що міститься у повідомленні, дорівнює добутку ентропії $H(A)$ джерела на кількість n символів, у тому числі складається надане повідомлення, тобто:

$$I = nH(A) \text{ біт}$$

Наприклад, якщо файл розміру 1 Мб має ентропію $H(A) = 0.6$, то кількість інформації, що міститься в ньому становить $I = 8388608 * 0.6 = 5\,033\,164,8$ біт

Ясно, що ключові файли повинні мати максимально можливу інформаційну ентропію.

Висока інформаційна ентропія є найважливішою характеристикою якості ключових файлів. Проте вона не є вичерпною. Наприклад, розглянемо


```

from test import Test
from tkinter import *
from pandas import DataFrame
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
class TestGraphic(Test):
    def __init__(self, file):
        self.file = file
    def draw_result(self):
        x = []
        y = []
        for i in range(self.file.get_bits()):
            x.append(i)
        y = self.file.get_bits_array()
        Data2 = {'Index': x,
                'Bits': y}
        df2 = DataFrame(Data2, columns=['Index', 'Bits'])
        df2 = df2[['Index', 'Bits']].groupby('Index').sum()
        window = Tk()
        figure2 = plt.Figure(figsize=(5, 4), dpi=100)
        ax2 = figure2.add_subplot(111)
        line2 = FigureCanvasTkAgg(figure2, window)
        line2.get_tk_widget().pack()
        df2.plot(kind='line', legend=True, ax=ax2, color='r', marker='o', fontsize=10)
        ax2.set_title('Sequence graphic')
        window.mainloop()

```

Рисунок 9 – Програмна реалізація інтерфейсу TestGraphic

3.4.4 Гістограма послідовності

Ще одним найпростішим тестом послідовності на випадковість є побудова її гістограми. Цей тест дозволяє оцінити рівномірність розподілу символів у послідовності, а також частоту появи того чи іншого символу.

```

from test import Test
import matplotlib.pyplot as plt
class TestBarGraph(Test):
    def __init__(self, file):
        self.file = file
    def draw_result(self):
        y = self.file.get_bits_array()
        plt.hist(y)
        plt.show()

```

Рисунок 10 – Програмна реалізація інтерфейсу TestBarGraph

Правило побудови: у досліджуваній послідовності E підраховується скільки разів зустрічається кожен елемент. Після цього будується графік залежності кількості появ елемента від їх чисельного уявлення. Для того, щоб послідовність задовольняла властивостям випадковості, необхідно, щоб у ній були присутні всі можливі елементи розрядності, при цьому розкид частот

появи символів прагнуть до нуля [93]. Додамо в нашу програму реалізацію інтерфейсу Test, яка відповідатиме за аналіз та виведення на екран гістограми послідовності – TestBarGraph (рис.10)

3.4.5 Розподіл на площині

Цей тест призначений для визначення залежності між елементами досліджуваної послідовності. Побудова розподілу на площині здійснюється в такий спосіб. На полі розміром R (розрядність чисел послідовності, що досліджується) наносяться точки з координатами $(x_i; x_{i+1})$, де x_i - елементи досліджуваної послідовності x , n - довжина послідовності.

```

from test import Test
from tkinter import *
class TestPlaneDistribution(Test):
    def __init__(self, file):
        self.file = file
        self._canvas = None
    def paint(self, x, y):
        x1, y1 = (x - 1), (y - 1)
        x2, y2 = (x + 1), (y + 1)
        self._canvas.create_oval(x1, y1, x2, y2, fill="#476042")
    def draw_result(self):
        canvas_width = 256
        canvas_height = 256
        master = Tk()
        self._canvas = Canvas(master,
                               width=canvas_width,
                               height=canvas_height)
        self._canvas.pack(expand=YES,
                           fill=BOTH)

        y = []
        for s in self.file.get_bits_array():
            y.append(str(s))
        y1 = []
        for i in range(len(y)):
            y1.append(int('0b' + '.'.join(y[i:i + 8]), 2))
        for i in range(0, 250, 2):
            self.paint(y1[i], y1[i + 1])
        mainloop()

```

Рисунок 11 – Програмна реалізація інтерфейсу TestPlaneDistribution

Далі аналізується одержана картина. Якщо між елементами послідовності відсутня залежність, то точки на полі розташовані хаотично. Якщо на полі присутні залежності, спостерігаються «візерунки» -

послідовність не є випадковою. Для послідовностей великої довжини добрим результатом є абсолютно чорне поле [92].

Додамо в нашу програму реалізацію інтерфейсу Test, яка відповідатиме за аналіз та виведення на екран розподілу на площині – TestPlaneDistribution (рис. 11)

3.4.6 Перевірка на монотонність

Даний тест дозволяє оцінити рівномірність розподілу символів у досліджуваній послідовності на основі аналізу довжин ділянок невростання та незменшення елементів послідовності. Правило побудови: Досліджувана послідовність графічно представляється як наступних друг за одним непересічних ділянок невозрастания і невтрата елементів послідовності.

```

from test import Test
import matplotlib.pyplot as plt
class TestMonotonicityCheck(Test):
    def __init__(self, file):
        self.file = file
    def draw_result(self):
        y = []
        for s in self.file.get_bits_array():
            y.append(str(s))
        y1 = []
        for i in range(len(y)):
            y1.append(int('0b' + ''.join(y[i:i + 8]), 2))
        vozr = 0
        ub = 0
        t = []
        for i in range(1, len(y1)):
            if y1[i] > y1[i - 1] and ub == 0:
                vozr += 1
            elif y1[i] > y1[i - 1] and ub != 0:
                t.append(ub)
                ub = 0
                vozr += 1
            if y1[i] < y1[i - 1] and vozr == 0:
                ub += 1
            elif y1[i] < y1[i - 1] and vozr != 0:
                t.append(vozr)
                vozr = 0
                ub += 1
            if y1[i] == y1[i - 1] and vozr == 0:
                ub += 1
            elif y1[i] == y1[i - 1] and ub == 0:
                vozr += 1
        plt.hist(t)
        plt.show()

```

Рисунок 12 – Програмна реалізація інтерфейсу TestMonotonicityCheck

У послідовності, чії статистичні властивості близькі до властивостей істинно випадкової послідовності, ймовірність появи ділянки незростання (невипадання) певного розміру залежить від його довжини: чим більша довжина, тим менша ймовірність. В іншому випадку послідовність не є випадковою [92].

Додамо в нашу програму реалізацію інтерфейсу Test, яка відповідатиме за аналіз та виведення на екран перевірки на монотонність – TestMonotonicityCheck (рис. 12)

3.4.7 Перевірка серій

Даний тест дозволяє оцінити рівномірність розподілу символів у досліджуваній послідовності на основі аналізу частоти появи нулів та одиниць та серій, що складаються з k-біт.

Правило побудови: підраховується, скільки разів зустрічаються нулі, одиниці, серії-двійки (00, 01, 10, 11), серії-трійки (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111) у бітовому поданні .

```
from test import Test
import matplotlib.pyplot as plt
class TestEpisodesCheck(Test):
    def __init__(self, file):
        self.file = file
    def draw_result(self):
        y = []
        for s in self.file.get_bits_array():
            y.append(str(s))
        y1 = []
        for i in range(len(y)):
            y1.append(int('0b' + ''.join(y[i:i + 8]), 2))
        plt.hist(y1, bins=list(range(0, 9)))
        plt.show()
```

Рисунок 13 – Програмна реалізація інтерфейсу TestEpisodesCheck

Отримані результати подаються у графічному вигляді. У послідовності, чії статистичні властивості близькі до властивостей істинно випадкової послідовності, розкиди між числом появ нулів і одиниць, між числом появ

серій пар кожного виду і між появою серій-трибок кожного виду повинні прагнути до нуля. В іншому випадку послідовність не є випадковою [91].

Додамо в нашу програму реалізацію інтерфейсу Test, яка відповідатиме за аналіз та виведення на екран перевірку серій – TestEpisodesCheck (рис. 13)

3.4.8 Автокореляційна функція

Автокореляційна функція - залежність взаємозв'язку між функцією (сигналом) і її зсунутою копією від величини тимчасового зсуву. Для двійкових послідовностей автокореляційна функція обчислюється за такою формулою після відображення послідовності на алфавіт 0 – 1, 1 – -1

Додамо в нашу програму реалізацію інтерфейсу Test, яка відповідатиме за аналіз та виведення на екран автокореляційної функції – TestAutocoreliationCheck (рис. 14)

```

from test import Test
from tkinter import *
from pandas import DataFrame
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
class TestAutocoreliationCheck(Test):
    def __init__(self, file):
        self.file = file
    def draw_result(self):
        S = self.file.get_bits_array()
        S1 = S + S
        A = []
        for i in range(len(S) - 1):
            s = S1[i:i + len(S)]
            a = [(-1) ** S[j] * (-1) ** s[j] for j in range(len(S))]
            A.append(sum(a) / len(S))
        x = list(range(len(A)))
        Data2 = {'Index': x,
                'AAKF': A}
        df2 = DataFrame(Data2, columns=['Index', 'AAKF'])
        df2 = df2[['Index', 'AAKF']].groupby('Index').sum()
        window = Tk()
        figure2 = plt.Figure(figsize=(5, 4), dpi=100)
        ax2 = figure2.add_subplot(111)
        line2 = FigureCanvasTkAgg(figure2, window)
        line2.get_tk_widget().pack()
        df2.plot(kind='line', legend=True, ax=ax2, color='r', marker='o', fontsize=10)
        ax2.set_title('AAKF')
        window.mainloop()

```

Рисунок 14 – Програмна реалізація інтерфейсу TestAutocoreliationCheck

3.4.9 Дослідження надійності ключового файлу

Реалізуємо відсутні частини програми відповідно до UML діаграми класів (рис. 15) та UML діаграми Use-Case (рис. 16)

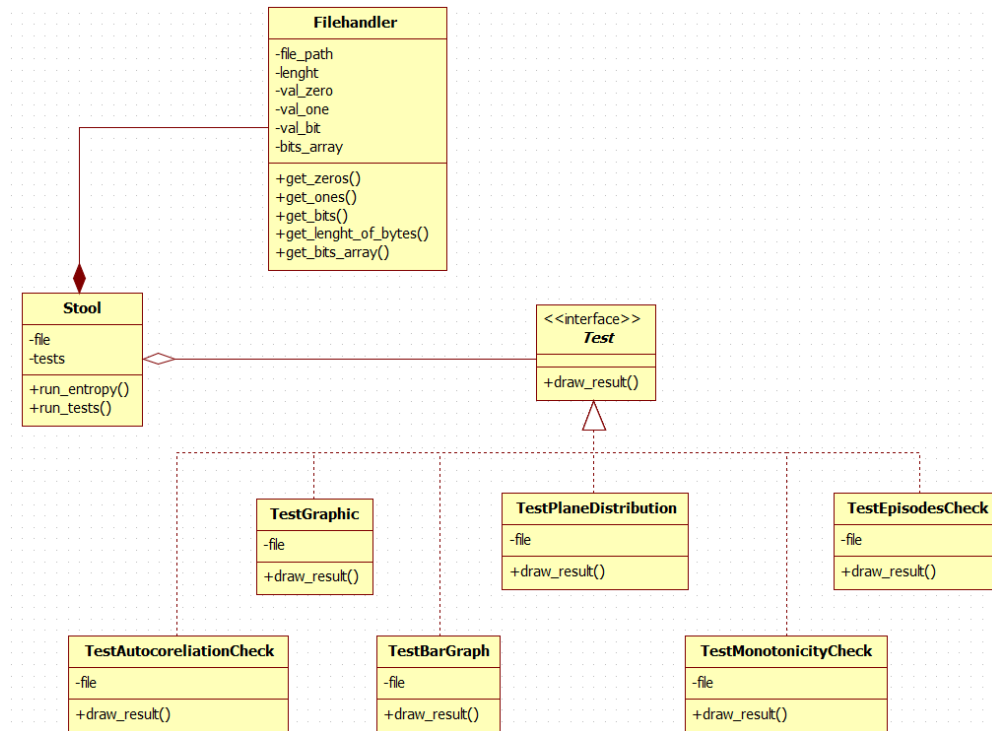


Рисунок 15 – UML діаграма класів

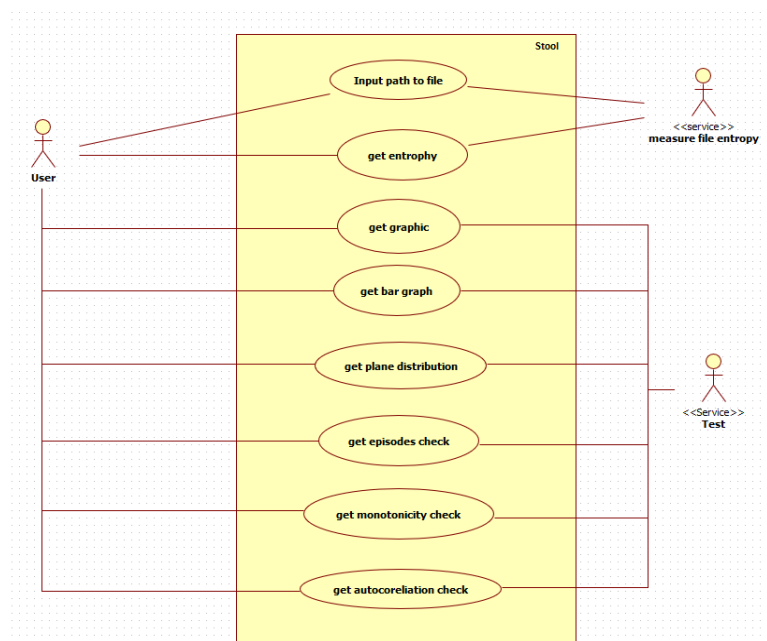


Рисунок 16 – UML діаграма Use-Case

```

Command Prompt - py stool.py E:\1\OOBENetworkCaptivePortal.exe
E:\Soul\incoming\etool>py stool.py E:\1\OOBENetworkCaptivePortal.exe
INFO:root:Opening file: E:\1\OOBENetworkCaptivePortal.exe
INFO:root:Calculating entropy for file: E:\1\OOBENetworkCaptivePortal.exe
INFO:root:Total zeros: 10956
INFO:root:Total ones: 10212
INFO:root:Total bits: 21168
INFO:root:Entropy value: 0.9991087075811322

```

Рисунок 17 – Вікно виконання програми (Ентропія)

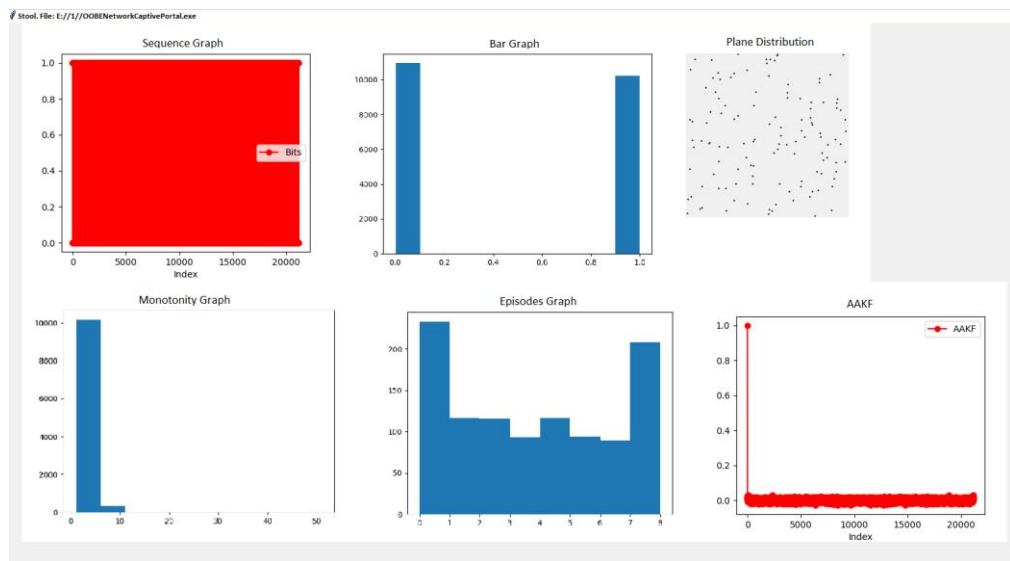


Рисунок 18 – Вікно виконання програми (Графіки)

Провівши дослідження шляхом аналізу найпопулярніших типів файлів за допомогою реалізованої утиліти на мові програмування Python, можна зробити висновок, що файли типу «exe» мають найвищу інформаційну ентропію.

Висока інформаційна ентропія є найважливішою характеристикою якості ключових файлів. Проте вона не є вичерпною [93]. Щоб обрати максимально якісний файл, із переліку файлів з максимальною ентропією, треба щоб цей файл також відповідав наступним критеріям:

Критерій випадкового зовнішнього вигляду графіку бітової послідовності файлу та критерій рівномірності її гістограми.

Критерій випадкового вигляду розподілу послідовності даних файлу на площині.

Критерій монотонності.

Критерій серій.

Критерій мінімізації бічного пелюстка бітової автокореляційної функції.

Висновки до розділу 3

В роботі було проаналізовано стан впровадження та захищеності систем моніторингу екологічної безпеки та систем критичної інфраструктури. Було виявлено, що на сьогоднішній день впровадження таких систем у багатьох країнах все ще знаходиться на початковій стадії, що може призвести до серйозних наслідків для екології та інфраструктури. Стан впровадження та захищеності систем моніторингу екологічної безпеки та систем критичної інфраструктури не є задовільним. Виявлено значну кількість проблем у функціонуванні цих систем, такі як недостатня кількість датчиків, нестача кваліфікованих фахівців, низький рівень захищеності від кібератак, неадекватність програмного забезпечення та апаратних засобів, що може призвести до катастрофічних наслідків.

У зв'язку з цим, для покращення стану впровадження та захищеності цих систем необхідно провести комплексні заходи, зокрема, збільшити кількість датчиків та їх точність, підвищити кваліфікацію фахівців, зміцнити захист від кібератак, оновити програмне забезпечення та апаратні засоби. Такі заходи дозволять зменшити ризики катастрофічних наслідків та забезпечити належний рівень екологічної безпеки та захисту критичної інфраструктури.

Висновуючи з результатів дослідження стану впровадження та захищеності систем моніторингу екологічної безпеки та систем критичної інфраструктури існує значна потреба у забезпеченні високої захищеності цих

систем від зловмисних атак та непередбачуваних випадків, що можуть спричинити негативні наслідки для довкілля та суспільства. При цьому варто зазначити, що дослідження показали наявність певних проблем у впровадженні та функціонуванні цих систем, зокрема, недостатню координацію між різними структурами, відсутність чіткого регулювання та стандартизації, обмежену можливість передбачення та управління ризиками.

РОЗДІЛ 4. ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ І ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ МАСШТАБУ ТА НЕБЕЗПЕКИ ПОВЕНЕЙ

Зростання масштабу повеней і загострення повеневих загроз внаслідок змін клімату та різноманітних антропогенних факторів створюють надзвичайно актуальну проблему у галузі повеневого управління. У контексті сучасних викликів, пов'язаних із повенями, дослідження "Геоінформаційні та інтелектуальні технології підтримки прийняття рішень при визначенні масштабу та небезпеки повеней" відзначається важливістю та актуальністю з кількох ключових аспектів.

Зростання температур, екстремальні погодні явища і збільшення кількості опадів призводять до збільшення інтенсивності та частоти повеней. Це створює нагальну потребу в подальших дослідженнях та інноваціях для кращого розуміння і передбачення цих явищ. Поводження з повенями є критичним для захисту людей, інфраструктури та майна. Важливо розробити інтелектуальні інструменти, які допомагатимуть вчасно реагувати на загрози та зменшувати ризики. Впровадження геоінформаційних технологій та інтелектуальних систем у повенеке управління може допомогти оптимізувати розподіл ресурсів та вдосконалити планування дій при повеневих подіях. Повені мають значущий вплив на стале розвиток суспільства, економіки та навколишнього середовища. Правильне вирішення повеневих питань сприяє збереженню ресурсів та сприяє досягненню сталого розвитку.

Дослідження в галузі геоінформаційних та інтелектуальних технологій для прийняття рішень щодо повеней сприяють створенню нових інноваційних методів та інструментів, що полегшують прийняття рішень та забезпечують покращення управління повеневими ризиками.

Усі ці аспекти підкреслюють актуальність та важливість проведення досліджень у галузі геоінформаційних та інтелектуальних технологій для прийняття рішень щодо масштабу та небезпеки повеней. Ця робота визначає

нові шляхи вирішення проблем повеневого управління та спрямована на забезпечення безпеки, сталого розвитку та збереження ресурсів в умовах зростаючих викликів, пов'язаних із повеннями.

Це дослідження спрямоване на вивчення можливостей геоінформаційних та інтелектуальних технологій, а також використання нейро-нечіткої технології для обробки різномірних просторових даних та космічних знімків з високим просторовим розрізненням. Дослідження спрямоване на вдосконалення управління повеннями та прийняття рішень у зв'язку з ними.

Метою даного дослідження є розробка та застосування нейро-нечіткої технології для обробки різномірних геоінформаційних даних та космічних знімків з високим просторовим розрізненням з метою точного моделювання зон затоплення в ГІС. Зокрема, ми прагнемо до:

Розробки нейро-нечіткої системи, яка забезпечить обробку та інтеграцію різних типів геоінформаційних даних, таких як топографічні карти, гідрологічні дані, та космічні знімки.

Моделювання зон затоплення в реальному часі на основі оброблених даних з використанням нейро-нечіткої логіки для врахування невизначеності та нечіткості.

Забезпечення можливості точного прогнозування розподілу води та визначення найбільш ризикових зон для прийняття рішень щодо евакуації та захисту населення та інфраструктури.

Для досягнення вказаних цілей будуть використовуватися наступні методи:

Збір та акумуляція різномірних просторових даних, включаючи топографічні дані, гідрологічні дані, та космічні знімки з супутників.

Розробка нейро-нечіткої системи, яка базується на штучних нейронних мережах і нечіткій логіці для обробки даних та прийняття рішень.

Валідація та налаштування системи на історичних даних повеней та кризових ситуацій.

Моделювання зон затоплення та проведення аналізу впливу різних факторів на розподіл води.

Від цього дослідження очікується отримання наступних результатів:

Розробка ефективної нейро-нечіткої системи для обробки різнорідних просторових даних та моделювання зон затоплення.

Покращення точності та швидкості прогнозування зон затоплення в ГІС.

Забезпечення підтримки прийняття рішень у важливих ситуаціях, таких як повені та інші надзвичайні події.

4.1 Аналіз предметної області та існуючих досліджень у галузі

4.1.1 Аналіз попередніх досліджень у галузі ГІС для управління повенями.

У сучасній Україні дослідженнями в галузі геоінформаційних та інтелектуальних технологій для управління повенями займається низка наукових установ, університетів та дослідницьких організацій, зокрема Національний університет "Львівська політехніка", Національна академія наук України, Міністерство екології та природних ресурсів України, а також дослідницькі лабораторії та групи в університетах та інших освітніх та наукових закладах. Активно проводяться дослідження в області геоінформаційних технологій, географічних інформаційних систем, природних наук, включаючи гідрологію та геоінформаційні технології. Проводиться моніторинг та управління природними ресурсами, включаючи запобігання повеням, а також вивчаються різноманітні аспекти повеневого управління. Перерахованими питаннями займаються такі вчені і дослідники як В. Шевчук, О. Мороз, З. Тартачинська, Л. Лубенець, М. Адаменко, О. Васильченко, Е. Дармофал, О. Данілін, Р. Беженар, М. Сусідко, О. Лук'янець, О. Бабаджанова, Н. Гринчишин, Ю. Сукач.

У роботі [144] запропонована методика дослідження змін деформації русел рік Прикарпатського регіону, яка базується на використанні

аерокосмічного та наземного знімання і включає обробку матеріалів з метою отримання топографічних або спеціальних карт, а також побудову ЦМР. З метою достовірного аналізу зміни русла, автор пропонує використовувати геологічні, гідрографічні та інші картографічні матеріали. Також ефективним для дослідження деформаційних процесів вбачається накладання знімків на ЦМР. Кінцевою метою запропонованої у [144] методики є оцінка та розгляд заходів протидії повеневим та деформаційним явищам деформації русла.

Згідно з дослідженням [145], для встановлення певних закономірностей та прогнозування майбутніх повеней необхідно створити банк даних лісового покриву Українських Карпат та розробити рекомендації щодо ефективного використання лісових ресурсів; розробити заходи удосконалення системи протиаварійного захисту, будівництва, реконструкції та експлуатації протиаварійних водосховищ, захисних укріплень та дамб; чітко визначити прибережні захисні смуги та водоохоронні зони; регулювати режим використання земель у зонах, прилеглих до водоохоронних; враховувати особливості місцевості під час надання дозволів на забудову – як житлову, так і промислову; виконати детальне картографування русел та долин річок в масштабі 1:2000 – 1:5000 з перерізом рельєфу 1 метр.

Згідно висновків дослідників, це дасть змогу повною мірою прогнозувати та виконувати необхідний комплекс робіт для запобігання руйнівним діям повеней і паводків в Карпатському регіоні України

У роботі [146] проаналізовано метод обчислення обсягу стоку з поверхні ґрунту до водоймища, та запропоновано шляхи його вдосконалення через врахування інфільтрації води в ґрунт на неурбанізованих територіях. Запропоновано удосконалену формулу об'єму стоку, що інфільтрується до ґрунту, для територій, суміжних з урбанізованими. Запропоновано формулу для розрахунку маси води, що буде стікати з поверхні визначеної ділянки земної поверхні під час опадів. Також у роботі запропоновано підхід щодо розв'язання задачі обчислення уточненого значення маси води, що буде

стікати до водоймища під час опадів та визначення факторів, що впливають на результати розрахунків

Науковці ІПММС НАН України спрогнозували характер затоплення територій Києва внаслідок прориву, що може бути допоміжним матеріалом для розроблення заходів своєчасного реагування на можливу катастрофу, попередження і захисту населення, захисту об'єктів особливого призначення [147]. Прогноз складено для періоду інтенсивних обстрілів інфраструктури Києва, на кінець лютого – початок березня 2022 року, для гідрологічної ситуації весняного водопілля, що склалася на цей період. Розглянуто сценарій затоплення заплави Ірпеня за рівня Київського водосховища 103.6 м, що відповідає форсованому рівню водосховища у 20-х числах березня 2022 року. Змодельовано межі зони затоплення й розподіл глибин затоплення в заплаві Ірпеня.

У статті [148] дослідниками з Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту наведені гідрологічні показники, що характеризують інтенсивність річкового стоку. Це дає не тільки загальну уяву про ймовірну небезпеку від повеней і паводків, а й дозволяють оцінити її в кількісному виразі по всіх регіонах України. Про неоднорідність умов формування високої водності свідчать максимальні модулі стоку 1%-ої ймовірності перевищення, які змінюються від 2,5-3,2 м³/с з 1 км² в Карпатах до 0,1-0,6 м³/с на рівнинній території.

Також аналіз існуючих досліджень показав, що внаслідок швидкої урбанізації, зростання населення та довгострокових тенденцій зміни клімату, повені стають дедалі серйознішою проблемою розвитку суспільства. Повені практично щорічно заподіюють державам величезний соціально-економічний збиток, тому необхідна ефективна програма дій для захисту населення і територій від цього стихійного лиха [149].

4.2 Формулювання методології визначення масштабів та небезпеки повеней засобами ГІС

4.2.1 Визначення методів збору геоінформаційних та метеорологічних даних

У сучасному світі, де зміни клімату та природні катастрофи стають все більш непередбачуваними та загрожуючими для нашого суспільства, важливо мати надійні та точні засоби для визначення масштабу та небезпеки повеней. Геоінформаційні та інтелектуальні технології підтримки прийняття рішень стають невід'ємною частиною цього процесу, дозволяючи збирати, аналізувати та інтерпретувати великі обсяги даних для вчасного та ефективного реагування на небезпеку повеней [95].

Передбачення та управління повенями вимагає збору різноманітних геоінформаційних та метеорологічних даних. Географічні дані, включаючи висоту місцевості, рельєф та водні шляхи, є важливими для розуміння розподілу води під час повені. Метеорологічні дані, такі як опади, вітер та температура повітря, надають інформацію про погодні умови, які можуть вплинути на рівень води в річках та резервуарах.

Геоінформаційні системи грають ключову роль у зборі, зберіганні та аналізі геоінформаційних даних. Вони дозволяють створювати цифрові моделі місцевості, розраховувати потенційні зони затоплення та оцінювати вразливість населених пунктів. ГІС також допомагають у візуалізації даних, що полегшує розуміння складних взаємодій між різними факторами [96].

Сучасні технології, такі як дистанційне зондування та супутникові системи, дозволяють отримувати великі обсяги геоінформаційних та метеорологічних даних у реальному часі. Супутникові знімки надають можливість відстежувати зміни в географічних областях, що може бути корисним для передбачення можливих ризиків повеней та їхнього впливу на природні та людські системи.

Штучний інтелект та машинне навчання грають важливу роль у вдосконаленні методів прогнозування повеней. Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати великі обсяги даних та ідентифікувати закономірності, які допомагають у точнішому передбаченні можливих сценаріїв повені. Інтелектуальні технології також можуть враховувати інші фактори, такі як демографічні дані та інфраструктура, для розробки більш комплексних моделей.

Великі дані грають ключову роль у розвитку геоінформаційних технологій для передбачення повеней. Завдяки великому обсягу доступних даних можна проводити більш деталізовані аналізи та використовувати їх для навчання алгоритмів машинного навчання. Це дозволяє покращити точність передбачень та забезпечити більш ефективне вирішення завдань управління ризиками повеней [97].

Інтеграція геоінформаційних та метеорологічних даних з іншими джерелами інформації, такими як соціальні мережі та сенсорні системи, може забезпечити більш повні та реалістичні дані для аналізу. Інформація, отримана від мешканців та сенсорів, може допомогти в реальному часі оцінити вплив повені на людей та інфраструктуру, що є важливим для реагування та розробки планів невідкладних заходів.

Аналіз та візуалізація геоінформаційних та метеорологічних даних є ключовим етапом у прийнятті рішень. Використання спеціалізованих програмних засобів дозволяє ефективно аналізувати дані та візуалізувати їх у вигляді карт, графіків та інших графічних зображень. Це полегшує сприйняття інформації та сприяє швидкому та обґрунтованому процесу прийняття рішень.

Таким чином, геоінформаційні та інтелектуальні технології підтримки прийняття рішень є невід'ємною частиною вирішення проблем повеней. Інтеграція геоінформаційних та метеорологічних даних з сучасними методами аналізу даних, такими як машинне навчання та великі дані, дозволяє не тільки передбачати можливі ризики, але й розробляти ефективні стратегії управління ризиками та допомагає врятувати життя та майно людей [98].

4.2.2 Розробка математичних моделей та алгоритмів для прогнозування повеней

В умовах зростаючої непередбачуваності кліматичних явищ та зменшення природних резервуарів для зберігання води, розробка точних та надійних методів прогнозування повеней стає проблемою критичної важливості. В сучасному світі, де зміни клімату призводять до екстремальних погодних умов, розробка і вдосконалення математичних моделей та алгоритмів для прогнозування повеней стає нагальним завданням для науковців та інженерів.

Перед розробкою будь-якої математичної моделі для прогнозування повеней важливо вивчити історичні дані та встановити сучасні тенденції у зміні рівня води в річках та інших водоймах. Аналізуючи попередні повені та їхні наслідки, можна зрозуміти взаємозв'язки між погодними умовами та повеневою активністю, що є важливим для розробки прогностичних моделей.

Гідрологічні моделі дозволяють враховувати вплив різних факторів на рівень води в річках та інших водоймах. Вони базуються на математичних рівняннях, що враховують течію води, вплив опадів, танення снігу та інші гідрологічні процеси. Розробка точних гідрологічних моделей є ключовим етапом у прогнозуванні повеней, оскільки ці моделі можуть допомогти визначити можливі сценарії розвитку подій [99].

Одним із важливих аспектів у розробці математичних моделей для прогнозування повеней є врахування метеорологічних факторів. Оподи, інтенсивність дощів, сніготанення, вітер та інші погодні умови можуть впливати на кількість води, яка потрапляє у річки та річкові басейни. Інтеграція метеорологічних даних у математичні моделі дозволяє зрозуміти, які погодні умови можуть викликати повені та як їх можна передбачити.

Штучний інтелект та методи машинного навчання можуть значно покращити точність прогнозів повеней. Алгоритми глибинного навчання можуть аналізувати великі обсяги даних та ідентифікувати складні залежності

між різними факторами, які впливають на повені. Використання нейронних мереж та інших методів машинного навчання дозволяє створити прогностичні моделі, які можуть передбачати повені з високою точністю [100].

Зміни клімату призводять до збільшення екстремальних погодних явищ, таких як сильні дощі та теплові хвилі, що можуть спричинити повені. У розробці математичних моделей для прогнозування повеней важливо враховувати ці зміни та їхній вплив на гідрологічні та метеорологічні процеси. Моделі повинні бути адаптовані до нових реалій кліматичних змін для того, щоб їх можна було використовувати в надзвичайних ситуаціях та для розробки стратегій управління ризиками повеней в майбутньому [101].

Комп'ютерні симуляції та імітації можуть служити важливим інструментом для вивчення різних сценаріїв повені. Ці симуляції базуються на математичних моделях та дозволяють імітувати розвиток подій в умовах різних гідрометеорологічних умов. Вони дозволяють визначити можливі наслідки повені та допомагають у розробці стратегій мінімізації збитків.

Незважаючи на всі технологічні досягнення, практичний досвід залишається невід'ємною частиною розробки математичних моделей для прогнозування повеней. Взаємодія між науковцями, інженерами та владними структурами дозволяє об'єднати теоретичні знання з практичним досвідом, що призводить до розробки ефективних та надійних методів прогнозування повеней [102].

Отже, розробка математичних моделей та алгоритмів для прогнозування повеней є важливим напрямком сучасних наукових досліджень. Інтеграція різноманітних даних, використання розумних алгоритмів та врахування змін клімату є ключовими аспектами в розробці прогностичних систем, які можуть вчасно попередити про наближення повені та зменшити її негативний вплив на суспільство та природу. Розробка надійних математичних моделей допоможе зменшити ризики та сприятиме створенню безпечніших умов для мільйонів людей, які щодня знаходяться під загрозою повеней у всьому світі.

4.2.3 Вибір і розробка інтелектуальних систем для аналізу та прийняття рішень

У сучасному світі, де обсяги даних надзвичайно великі та неперервно зростають, вибір та розробка інтелектуальних систем для аналізу та прийняття рішень стають ключовим завданням для бізнесу, науки та влади. Ці системи використовують передові технології штучного інтелекту, машинного навчання та глибокого аналізу даних для того, щоб надати користувачам цінні інсайти, допомогти в прийнятті оптимальних рішень та забезпечити конкурентні переваги в сучасному цифровому світі.

Сучасні інтелектуальні системи базуються на глибокому аналізі даних та використанні алгоритмів машинного навчання для виявлення закономірностей та визначення оптимальних стратегій. Вони включають у себе елементи нейронних мереж, природних мовних обробників, технік обробки зображень і багато інших. Ці системи вже застосовуються в різних галузях, від фінансів до медицини, де вони допомагають приймати рішення на основі даних та аналізу ринку [103].

Використання інтелектуальних систем ефективно лише тоді, коли вони мають доступ до відповідних та якісних даних. Це означає, що збір, обробка та зберігання даних відіграють ключову роль у розробці інтелектуальних систем. Однак це також ставить питання про етику та безпеку даних, які вимагають ретельного вивчення та впровадження стандартів.

Машинне навчання та глибокий аналіз даних є основними компонентами інтелектуальних систем. Машинне навчання дозволяє системам навчатися на основі даних та робити прогнози та рекомендації. Глибокий аналіз даних використовується для виявлення складних взаємозв'язків у великих обсягах даних та виокремлення цінної інформації з різних джерел [104].

Інтелектуальні системи дозволяють створювати персоналізовані та адаптивні рішення для користувачів. За допомогою алгоритмів навчання

системи можуть адаптуватися до індивідуальних потреб користувачів та надавати специфічні рекомендації або прогнози. Це особливо важливо в сферах маркетингу, медицини та освіти [105].

Незважаючи на безсумнівні переваги, інтелектуальні системи стикаються з рядом викликів та обмежень. Етичні питання, пов'язані з використанням даних та впливом на приватність користувачів, потребують уваги та регулювання. Також важливо вирішувати проблеми з ефективністю та відмовостійкістю алгоритмів, щоб забезпечити надійність рішень.

Інновації грають важливу роль у розвитку інтелектуальних систем. Використання блокчейн-технологій для забезпечення безпеки даних, розвиток квантових обчислень для вирішення складних завдань та використання розширеної реальності для створення інтерактивних інтерфейсів – це лише кілька напрямів інновацій в розробці інтелектуальних систем [106].

Майбутнє інтелектуальних систем обіцяє ще більше інновацій та можливостей. Розвиток штучного інтелекту, розумних асистентів та автоматизованих систем прийняття рішень відкриває шляхи для вирішення найскладніших проблем сучасності. Перспектива їхнього використання варта дослідження та впровадження, оскільки вони можуть змінити парадигму управління бізнесом, наукою та суспільством в цілому [107].

Існує ряд інтелектуальних систем для аналізу та прийняття рішень, які використовують різноманітні техніки штучного інтелекту та машинного навчання для обробки даних. Ось деякі з найвідоміших інтелектуальних систем для аналізу та прийняття рішень:

IBM Watson: Watson від IBM є однією з найвідоміших інтелектуальних систем. Вона використовує технології штучного інтелекту для аналізу великих обсягів текстової інформації, включаючи статті, книги, та навіть медичні документи [108].

Google Cloud AI: Google Cloud AI надає широкий спектр інструментів для розробки інтелектуальних систем, включаючи мовленнєві та зображеннєві API, які допомагають аналізувати текст і зображення.

Amazon Web Services AI: AWS надає набір інтелектуальних сервісів, таких як Amazon Polly (синтез мови), Amazon Rekognition (розпізнавання зображень) та Amazon Comprehend (аналіз тексту), які можна використовувати для аналізу даних та прийняття рішень.

Microsoft Azure Cognitive Services: Azure Cognitive Services має набір API для аналізу тексту, мовлення та зображень. Це включає сервіси, такі як Text Analytics, Speech API та Computer Vision [109].

SAS Business Intelligence: SAS надає рішення для бізнес-аналітики та інтелектуального аналізу даних. Ці інструменти допомагають компаніям робити інформовані рішення на основі аналізу даних.

Tableau: Tableau - це інтерактивна програма візуалізації даних, яка дозволяє користувачам аналізувати та взаємодіяти з великими обсягами даних у реальному часі.

RapidMiner: RapidMiner - це інструмент для аналізу даних та машинного навчання, який надає інтуїтивний інтерфейс для створення складних моделей прогнозування та класифікації [110].

Таким чином, вибір і розробка інтелектуальних систем для аналізу та прийняття рішень стали необхідністю у сучасному цифровому світі. Ці системи допомагають виявляти патерни, передбачати тенденції та надавати цінні інсайти для оптимального прийняття рішень. Зростаюча роль штучного інтелекту та машинного навчання у суспільстві вказує на важливість постійного вдосконалення цих систем для максимальної користі та відповідності сучасним вимогам. Інновації, ефективний збір та обробка даних, а також етичні розгляди – це ключові аспекти, які визначатимуть успіх інтелектуальних систем у майбутньому, допомагаючи суспільству краще розуміти оточуючий світ та приймати інформовані рішення [111].

4.2.4. Нейро-нечітка система для обробки та інтеграції різних типів геоінформаційних даних

Обробка та інтеграція різних типів геоінформаційних даних, включаючи топографічні карти, гідрологічні дані, та космічні знімки, є ключовим етапом в розробці системи для точного моделювання зон затоплення в геоінформаційних системах. Нейро-нечітка система для обробки та інтеграції різних типів геоінформаційних даних - це сучасний підхід, який поєднує у собі два потужних інструменти: нейромережі та нечітку логіку, для розв'язання складних завдань обробки та аналізу геопросторової інформації з різних джерел та різної природи [112].

Нейромережі (нейронні мережі): Нейромережі - це математичні моделі, які намагаються відтворити спосіб, яким працює наше мозкове вузли нашого мозку. Вони можуть використовуватися для визначення складних закономірностей у великих обсягах геоінформаційних даних, допомагаючи виявляти шаблони та зв'язки, які не завжди очевидні для людини.

Нечітка логіка: Нечітка логіка - це математичний підхід, який дозволяє враховувати нечіткі, нестрогі категорії та поняття. У контексті геоінформаційних даних, це дозволяє краще управляти неоднозначністю та невизначеністю, які часто супроводжуються геопросторовою інформацією.

Поєднуючи нейромережі та нечітку логіку, створюється нейро-нечітка система, яка може обробляти та інтегрувати геоінформаційні дані з різних джерел, таких як супутникові знімки, геодезичні дані, кліматичні спостереження та інші. Ця система може виявляти складні взаємозв'язки та патерни у цих даних, а також враховувати нечіткість та невизначеність в процесі прийняття рішень [113].

Застосування нейро-нечітких систем у геоінформаційному аналізі може допомогти вирішувати проблеми, пов'язані з мапуванням, спрогнозуванням природних катастроф, плануванням міського розвитку, контролем за землекористуванням та багатьма іншими аспектами геоінформатики. Цей

підхід дозволяє підвищити точність та ефективність обробки та інтеграції геоінформаційних даних, що має велике значення для рішень, пов'язаних з управлінням геопростором.

Основні особливості використання нейро-нечітких систем:

Адаптивність: Нейро-нечіткі системи вміють адаптуватися до змінних умов та навчатися на основі нових даних. Вони здатні вдосконалювати свої моделі і підганяти їх під конкретні завдання, що робить їх ефективними для обробки геоінформаційних даних, які можуть мінятися з часом.

Обробка багатовимірних даних: Геоінформаційні дані часто мають багатовимірний характер, оскільки вони включають координати, часові ряди, кліматичні параметри та інші атрибути. Нейро-нечіткі системи можуть обробляти ці багатовимірні дані та виявляти складні взаємозв'язки між ними.

Врахування нечіткості та невизначеності: Геоінформаційні дані часто супроводжуються нечіткістю та невизначеністю. Нейро-нечіткі системи дозволяють враховувати ці аспекти, що дозволяє більш точно моделювати та аналізувати геоінформацію [114].

Здатність до аналізу в реальному часі: Нейро-нечіткі системи можуть працювати в реальному часі, що робить їх придатними для застосувань, де необхідна оперативна обробка та прийняття рішень, наприклад, в системах моніторингу та управління геоінформацією.

Комбінація логіки та статистики: Нейро-нечіткі системи поєднують у собі нечітку логіку, яка дозволяє виразити нечіткі категорії та відношення, зі статистичними методами, які допомагають моделювати складні статистичні закономірності у даних [115].

Інтеграція різних типів даних: Нейро-нечіткі системи можуть об'єднувати різні типи геоінформаційних даних, такі як супутникові знімки, геодезичні дані, даних зі станцій метеорологічних спостережень і багато інших, для отримання комплексних рішень.

Розробка нейро-нечіткої системи для обробки та інтеграції різних типів геоінформаційних даних - це складний процес, який вимагає дотримання

певних кроків для створення ефективного інструменту. Ось загальна методологія розробки такої системи:

Збір та підготовка даних: Перший етап - це зібрати різноманітні типи геоінформаційних даних, такі як супутникові знімки, метеорологічні дані, геодезичні вимірювання і т. д. Дані повинні бути оброблені та підготовлені для подальшого аналізу [116].

Визначення завдань та цілей: На цьому етапі визначаються конкретні завдання та цілі системи. Це може включати в себе прогнозування повеней, аналіз земельного використання, визначення ризиків для інфраструктури тощо.

Вибір моделі: На цьому етапі вибирається архітектура нейро-нечіткої системи, яка найкраще підходить для вирішення визначених завдань. Це може бути глибока нейромережа, яка добре справляється з аналізом складних зв'язків у даних.

Створення нечітких правил: Застосування нечіткої логіки для обробки даних та визначення нечітких правил, які враховують нечіткість та невизначеність в геоінформаційних даних.

Тренування нейромережі: Нейромережу необхідно тренувати на вихідних даних, щоб вона навчилася визначати складні залежності та патерни у геоінформаційних даних [117].

Інтеграція даних: Розроблена система повинна бути здатною інтегрувати різні типи геоінформаційних даних, що може включати в себе процес попередньої обробки, перетворення та адаптації даних для спільного аналізу.

Валідація та тестування: Система повинна бути піддана валідації та тестуванню на реальних даних та сценаріях, щоб переконатися в її ефективності та надійності.

Оптимізація та підтримка: Система може вимагати подальшої оптимізації та підтримки для підтримки актуальних геоінформаційних даних та завдань.

Впровадження: Після успішного тестування систему можна впровадити в реальному середовищі для вирішення конкретних завдань геоінформаційного аналізу та прийняття рішень.

Моніторинг та підтримка: Після впровадження важливо проводити моніторинг та підтримку системи, щоб забезпечити її ефективну роботу та вчасну реакцію на зміни у геоінформаційних даних.

Розробка нейро-нечіткої системи для обробки та інтеграції різних типів геоінформаційних даних є важливим кроком у розширенні можливостей ГІС для точного моделювання зон затоплення. Ця система допомагає враховувати нечіткість та невизначеність у геоінформаційних даних, що робить її важливою в сферах, де точність та швидкість важливі для прийняття рішень та захисту населення [118].

4.2.5. Система безпеки для підтримки нейро-нечіткої системи

Взаємозв'язок систем безпеки об'єктів критичної інфраструктури і нейро-нечіткої системи може покращити загальну безпеку та ефективність управління. Існує декілька способів, які дозволяють використовувати систему безпеки для підтримки нейро-нечіткої системи:

Захист від зовнішніх загроз: Система безпеки може служити для захисту інфраструктури від зовнішніх загроз, таких як кібератаки або фізичні напади. Інтеграція нейро-нечіткої системи може допомогти виявляти аномалії та несправедливості у великих обсягах даних, що відстежуються системою безпеки [119].

Виявлення ризиків на основі геоінформаційних даних: Система безпеки може використовувати геоінформаційні дані для виявлення потенційних ризиків та загроз, пов'язаних з географічною локацією об'єктів критичної інфраструктури. Наприклад, вона може враховувати навколишнє середовище, як природні катастрофи або інші фактори ризику.

Аналіз потенційних наслідків аварійних ситуацій: Нейро-нечітка система може використовувати геоінформаційні дані для аналізу можливих наслідків аварійних ситуацій та для прийняття рішень щодо відповідей на них. Це допомагає оптимізувати процеси реагування та відновлення після аварій [120].

Моніторинг та управління в реальному часі: Система безпеки може надавати нейро-нечіткій системі доступ до поточних даних про стан безпеки та об'єктів критичної інфраструктури в режимі реального часу. Це дозволяє швидко реагувати на потенційні загрози та приймати вчасні рішення.

Оптимізація ресурсів та планування заходів: Нейро-нечітка система може використовувати дані системи безпеки для оптимізації розподілу ресурсів та планування дій в аварійних ситуаціях, забезпечуючи ефективну реакцію на небезпеку [121].

Аналіз результатів та вдосконалення системи: Інформація, отримана від системи безпеки та нейро-нечіткої системи, може бути використана для аналізу результатів та подальшого вдосконалення обох систем з метою покращення безпеки та ефективності управління.

Для ефективного захисту об'єктів критичної інфраструктури важливо розуміти спрямованість зусиль з кібербезпеки. Представлена концепція побудови систем безпеки, що базуються на множині моделей, що описують різні сторони функціонування об'єкта захисту.

Системи об'єктів критичної інфраструктури – безліч автоматизованих систем управління (диспетчеризації), які забезпечують взаємодію інформаційно-комунікаційних мереж ОКІ, знищення / відмова у функціонуванні яких значно впливає на рівень інформаційної та/або кібербезпеки держави [122].

Для формування загального класифікатора загроз на елементи інфраструктури ОКІ пропонується на рис. 1, 2 процедуру формування класифікатора розділити на два етапи. На першому етапі, на основі оцінки експертами загроз, їх впливу на послуги безпеки СЗІ ОКІ формується єдина

база векторів загроз, які можуть бути реалізовані зловмисниками на різних ОКІ.

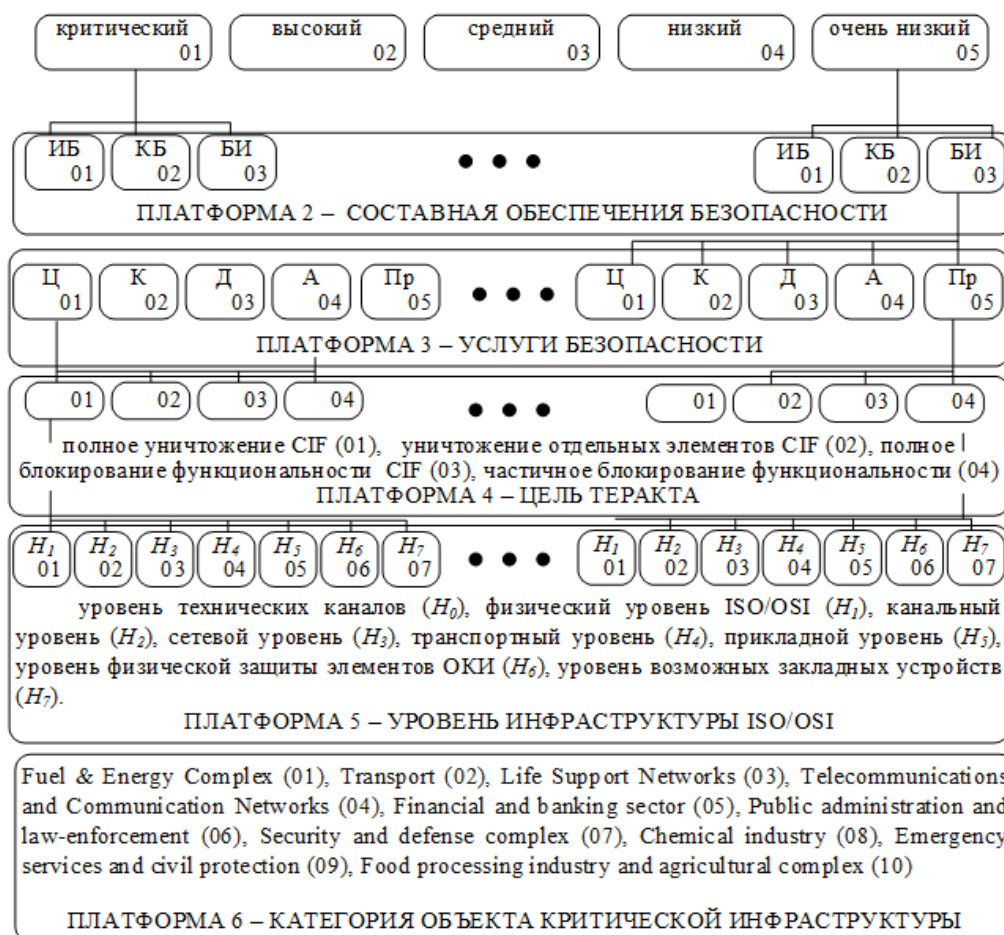


Рисунок 1 – Структура класифікатора загроз (експертна оцінка)

На другому етапі на основі запропонованих виразів розраховуються ймовірності реалізації загроз, можливість їхнього синергетичного та/або гібридного впливу на елементи інфраструктури. При цьому під синергетичним ефектом розумітимемо вплив загроз на одну із складових безпеки: кібербезпеку, інформаційну безпеку або безпеку інформації. Такий підхід дозволяє суттєво спростити класифікацію загроз та/або терористичних актів, сформуванати залежності між загрозами та послугами безпеки, визначити гібридні загрози, під якими пропонується розуміти комплексування впливу на

одну з послуг безпеки за всіма складовими безпеки. Класифікатор складається із 6 платформ [123].

Перша платформа визначає рівень критичності реалізації загрози (теракту) як критичний, високий, середній, низький, дуже низький. Друга платформа – складова безпеки: CS, IS, SI. Третя платформа – визначає спрямованість загрози однією з послуг безпеки, що дозволяє оцінити можливість синергетичного ефекту загроз на елементи об'єктів критичної інфраструктури [124].

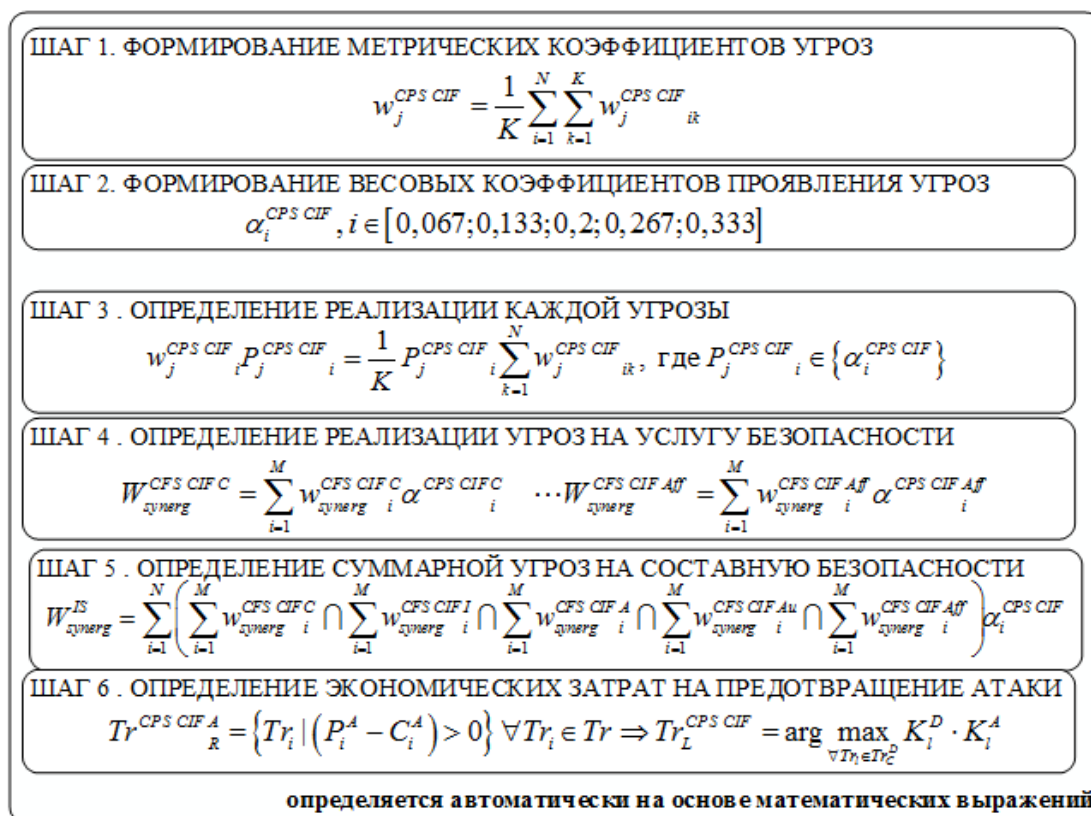


Рисунок 2 – Структура класифікатора загроз (автоматичні розрахунки)

Четверта платформа визначає мету теракту – повне знищення CIF (01), знищення окремих елементів CIF (02), повне блокування функціональності CIF (03), часткове блокування функціональності (04)).

П'ята платформа дозволяє визначити рівень впливу загрози (теракту) на елементи інфраструктури СІФ. Пропонується: рівень технічних каналів (Н0), фізичний рівень ISO/OSI (Н1), каналний рівень (Н2), мережевий рівень (Н3), транспортний рівень (Н4), прикладний рівень (Н5), рівень фізичного захисту елементів СPS СІФ (Н6)), рівень можливих заставних пристроїв (Н7). Шоста платформа визначає приналежність категорії СІФ [125].

Для верифікації оцінки експертів використовуємо вагові коефіцієнти компетентності експертів (k_k), представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Вагові коефіцієнти компетентності експертів

№ з/п	Кваліфікація експертів	Значення вагового коефіцієнта (k_k)
1	міжнародний експерт у галузі ІБ, КБ, Бі	1,0
2	національний експерт у галузі ІБ, КБ, Бі	0,95
3	сертифікований міжнародний експерт у галузі ІБ, КБ, Бі	0,9
4	повний доктор наук у галузі ІБ, КБ, Бі	0,9
5	голова Служби безпеки	0,85
6	доктор філософії в галузі ІБ, КБ, Бі	0,8
7	співробітник служби безпеки	0,7
8	системний адміністратор	0,6
9	інженер служби безпеки	0,5
10	аспірант зі спеціальності в галузі ІБ, КБ, Бі	0,4

Сумарна оцінка i -ї загрози визначається за кількістю експертів відповідно до виразу:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{k=1}^K x_k \times k_k}{K}, \quad (1)$$

де x_k - оцінка k-го експерта впливу i-ї загрози; k_k – рівень компетентності експерта; K-кількість експертів [126].

Мірою узгодженості оцінок експертів є дисперсія, яка визначається за виразом:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K k_k (x_k - \bar{x}_i)^2. \quad (2)$$

Статистична ймовірність отриманих результатів $1 - \alpha_i$, складе: де величина x_i розподілена за нормальним законом із центром в x і дисперсією. Тоді Δ визначається виразом:

$$\Delta = t \sqrt{\sigma_x^2 / N}, \quad (3)$$

де t - величина за розподілом Стюдента для $K-1$ ступенів свободи.

Такий підхід дозволяє сформулювати експертну оцінку існуючих загроз на складові безпеки (КБ, ІБ, БІ), враховувати їхню спрямованість на зламування/припинення функціональності послуг безпеки. Універсальність підходу полягає в об'єктивній оцінці суджень експертів, що дозволяє використовувати даний математичний апарат при розгляді всього спектра загроз, їхню можливість комплексування, синергізм та гібридність [127].

Для формування метричних (вагових) коефіцієнтів загроз (4) та їх впливу на послуги безпеки введемо такі позначення та пропонуємо наступний математичний апарат:

1) j – послуга безпеки для СІФ. Основні послуги безпеки: С – конфіденційність;

– І – цілісність;

– А - доступність;

– А_u – автентичність,

– А_{ff} – причетність (приналежність).

Таким чином, у класифікаторі формується вектор послуг безпеки

2) N – кількість загроз;

3) K – кількість експертів;

4) i - Поточний номер i -ї небезпеки; k - Номер експерта.

Для виконання оцінки гібридної та синергетичної складових загроз використовуємо процедуру:

1 крок. Оцінка взаємозв'язку загроз та послуги безпеки:

$$W_j^{CPSCIF} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K W_j^{CPSCIF}_{ik}, \quad (4)$$

де $W_j^{CPSCIF}_{ik}$ - значення коефіцієнта, виставленого k -м експертом для i -ї загрози j -ї послуги безпеки.

2 крок. Формування коефіцієнтів загроз:

$$\alpha_i^{CPSCIF}, i \in [0,067;0,133;0,2;0,267;0,333].$$

3 крок. Визначення реалізації загрози:

$$W_j^{CPSCIF} P_j^{CPSCIF} = \frac{1}{K} P_j^{CPSCIF} \sum_{k=1}^N W_j^{CPSCIF}_{ik},$$

де

$$P_j^{CPSCIF} \in \{\alpha_i^{CPSCIF}\}. \quad (5)$$

Для послуг безпеки та i -ї загрози:

$$W_j^{CPSCIFC} P_j^{CPSCIFC} = \frac{1}{K} P_j^{CPSCIFC} \sum_{k=1}^N W_j^{CPSCIFC}_{ik},$$

Де

$$P_j^{CPSCIFC} \in \{\alpha_i^{CPSCIFC}\};$$

$$W_j^{CPSCIF I} P_j^{CPSCIF I} = \frac{1}{K} P_j^{CPSCIF I} \sum_{k=1}^N W_j^{CPSCIF I}_{ik},$$

Де

$$P_j^{CPSCIF I} \in \{\alpha_i^{CPSCIF I}\};$$

$$W_j^{CPSCIF A} P_j^{CPSCIF A} = \frac{1}{K} P_j^{CPSCIF A} \sum_{k=1}^N W_j^{CPSCIF A}_{ik},$$

Де

$$P_j^{CPSCIF A} \in \{\alpha_i^{CPSCIF A}\};$$

(6)

де - $W_j^{CFSCIFC}$, $W_j^{CFSCIFI}$, $W_j^{CFSCIFA}$, $W_j^{CFSCIFAu}$, $W_j^{CFSCIFAff}$ - вагові коефіцієнти послуг безпеки: C, I, A, Au, Aff; – вагові коефіцієнти послуги безпеки: C, I, A, Au, Aff; прояви атаки і-ї загрози [128].

4 крок. Визначення реалізації кількох загроз на послугу безпеки:

$$\begin{aligned}
 W_{synerg}^{CFSCIFC} &= \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFC} \alpha_i^{CFSCIFC}, \\
 W_{synerg}^{CFSCIFI} &= \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFI} \alpha_i^{CFSCIFI}, \\
 W_{synerg}^{CFSCIFA} &= \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFA} \alpha_i^{CFSCIFA}, \\
 W_{synerg}^{CFSCIFAu} &= \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFAu} \alpha_i^{CFSCIFAu}, \\
 W_{synerg}^{CFSCIFAff} &= \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFAff} \alpha_i^{CFSCIFAff},
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

де M – кількість загроз, які обрані експертом з і.

При формуванні метричних коефіцієнтів вважається, що отримані результати відносяться до незалежних загроз, у разі їхньої залежності (збіг кортежів загроз) необхідно скористатися виразом визначення повної ймовірності залежних подій:

$$P(AB) = P(A) + P(B) - P(AB). \tag{8}$$

При цьому оцінюються лише кортежі векторів, які належать до самих загроз (платформи 1–5). Такий підхід дозволяє без прив'язки до категорій об'єктів критичної інфраструктури сформуванню загальної уніфікованої бази загроз на всі CIF, які можуть призвести до терактів, їхньої ймовірності реалізації та можливих збитків [129].

5 крок. Визначення синергетичної загрози за складовими безпеки:

$$\begin{aligned}
 W_{synerg}^{IS} &= \sum_{i=1}^N \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFC} \cap \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFI} \cap \\ \cap \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFA} \cap \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFAu} \cap \\ \cap \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFAff} \end{array} \right) \alpha_i^{CPSCIF}, \\
 W_{synerg}^{CS} &= \sum_{i=1}^N \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFC} \cap \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFI} \cap \\ \cap \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFA} \cap \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFAu} \cap \\ \cap \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFAff} \end{array} \right) \alpha_i^{CPSCIF}, \\
 W_{synerg}^{SI} &= \sum_{i=1}^N \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFC} \cap \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFI} \cap \\ \cap \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFA} \cap \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFAu} \cap \\ \cap \sum_{i=1}^M W_{synerg\ i}^{CFSCIFAff} \end{array} \right) \alpha_i^{CPSCIF}.
 \end{aligned} \tag{9}$$

Для визначення сумарної синергетичної загрози:

$$W_{synerg}^{IS,CS,S} = W_{synerg}^{IS} \cup W_{synerg}^{CS} \cup W_{synerg}^{SI}. \tag{10}$$

Для визначення сумарної гібридної небезпеки:

$$\begin{aligned}
 W_{hybrid\ C,I,A,Au,Af\ synerg}^{CPSCIF} &= W_{synerg}^{CFSCIFC} \cap W_{synerg}^{CFSCIFI} \cap \\
 &\cap W_{synerg}^{CFSCIFA} \cap W_{synerg}^{CFSCIFAu} \cap W_{synerg}^{CFSCIFAff}.
 \end{aligned} \tag{11}$$

6 крок. Мінімізація фінансових витрат на превентивні заходи захисту.

Таким чином, основною відмінністю запропонованого підходу є можливість формування єдиної уніфікованої бази загроз на об'єктах критичної інфраструктури незалежно від категорії CIF. Це дозволяє не тільки спростити формування бази загроз на CIF, а й своєчасно враховувати вектори цільових атак, можливість їх комплексування, синергію та гібридність, а також виявляти критичні точки інфраструктури CIF, взаємозв'язок з інформаційними ресурсами. Крім цього, пропонований підхід забезпечує мінімізацію

фінансування на створення контуру безпеки бізнес-процесів CIF, а також своєчасно формувати превентивні заходи та профілі захисту [130].

Формування соціо-кіберфізичних систем на основі комплексування та синтезу бездротових технологій та мобільних Інтернет-технологій, з Інтернет-мовами забезпечують подальший розвиток цифрових послуг. Поява та розвиток смарт-технологій визначає не лише вектор подальшої діджиталізації послуг, а й потребує нового підходу до формування об'єктивної оцінки загроз безпеці. При цьому необхідна побудова багатоконтурних систем захисту інформації, які враховують не лише програмно-апаратні/програмні елементи інфраструктури CPS, а також фізичне розміщення та форму власності. В умовах зростання АРТ-атак об'єктивною необхідністю є формування нових основ Концепції безпеки. Використання в бездротових каналах ККК дозволяє забезпечити необхідний рівень безпеки, за рахунок формування тунельних режимів, при з'єднанні "точка в крапку", або використання широкосмугових каналів мобільного Інтернету на основі постквантових алгоритмів - крипто-кодових конструкцій. Пропонований підхід дозволяє не лише враховувати ознаки синергізму та гібридності загроз, але й забезпечує об'єктивну оцінку як самих загроз на критичні елементи інфраструктури CPS, так і оцінку безпеки CPS загалом [131].

Математична модель побудови несиметричних криптосистем на основі ККК Мак-Еліса та Нідеррайтера дозволяє забезпечити необхідний рівень послуг конфіденційності, цілісності та автентичності та практично реалізувати запропонований метод. Такий підхід забезпечує необхідний рівень захищеності послуг безпеки, а використання різних завадових кодів, дозволяє з урахуванням рівня секретності інформації забезпечити її зниження енергоємності та підвищити оперативність передачі інформації. Алгоритм реалізації послуг безпеки на основі постквантових алгоритмів несиметричних криптосистем Мак-Еліса та Нідеррайтера на різних алгеброгеометричних кодах дозволяє забезпечити закриття бездротового каналу та забезпечує можливість розширення спектру команд та/або функціональності.

4.3 Збір та обробка даних дослідження

4.3.1 Збір геоінформаційних та метеорологічних даних для аналізу повеней

У віці технологій збір та аналіз даних є важливими складовими у розумінні та передбаченні природних катастроф, зокрема повеней. Залучення геоінформаційних та метеорологічних даних є ключовим для розробки надійних моделей та стратегій управління ризиками повеней.

Для аналізу повеней потрібно використовувати різноманітні геоінформаційні та метеорологічні дані для отримання повнішого розуміння ситуації та розробки ефективних стратегій управління ризиками. Ось деякі ключові типи даних, які можуть бути корисними:

Цифрові карти. Карти водних шляхів, рельєфу та гідрографії допомагають визначити території, які найбільше схильні до повеней.

Дані про гідрологічні об'єкти. Це включає дані про річки, озера, ставки та інші водні джерела [132].

Гідрометеорологічні дані. Дані про снігопади, температуру, опади та інші метеорологічні фактори, які впливають на зміни рівня води.

Сейсмічні дані. Дані про землетруси можуть бути важливі, особливо в регіонах, де землетруси можуть викликати зсуви ґрунту та зміни рельєфу, що впливає на повені.

Опади. Дані про інтенсивність та розподіл опадів є важливими для визначення, наскільки швидко водяний стік може збільшитися.

Температура. Температура може впливати на танення снігу, швидкість випаровування та розташування водних тіл.

Вітер. Інформація про напрямок та швидкість вітру може впливати на відведення води та розподіл опадів.

Барометричний тиск. Відстеження змін у барометричному тиску може допомогти прогнозувати надходження атмосферних фронтів та інших погодних явищ.

Прогнози в реальному часі. Доступ до прогнозів погоди в реальному часі допомагає в заздалегідь виявити потенційно небезпечні умови та прийняти заходи управління ризиками [133].

ГІС, такі як ESRI ArcGIS та QGIS, надають доступ до географічних даних, включаючи картографічні дані, зображення супутників та векторні дані. Ці системи не лише забезпечують інформацією про ландшафт, але й можуть інтегруватися з іншими джерелами, такими як річкові гідрологічні дані, для детального аналізу територій, що піддаються ризику повеней.

Один з прикладів реальних джерел - NASA Earth Observing System Data and Information System. Вони забезпечують доступ до великої кількості даних супутникового спостереження, включаючи зображення високої роздільної здатності, які можуть виявити зміни в поверхневому водопроводі та природних водоймах.

Метеорологічні агентства, такі як Національна аеронавігаційна та атмосферна адміністрація США та Європейська організація з аеронавігації в цивільній авіації, надають доступ до даних про атмосферні умови та погодні прогнози. Ці дані дозволяють аналізувати імовірність інтенсивних опадів, теплові хвилі та інші метеорологічні фактори, які можуть викликати повені [134].

Встановлення датчиків рівня води та інших метеорологічних параметрів у річках та басейнах є невід'ємною частиною систем моніторингу повеней. Такі датчики, розташовані в різних точках водних потоків, надають реальні дані, які можуть бути використані для створення прогностичних моделей та реагування на надзвичайні ситуації.

Сучасні технології також включають в себе аналіз соціальних мереж і громадської звітності. Під час природних катастроф, таких як повені, люди активно діляться інформацією в мережі. Використання алгоритмів аналізу тексту дозволяє зібрати корисні дані зі схожих ситуацій минулого та взяти їх до уваги при розробці стратегій майбутнього.

Розвиток Інтернету речей дозволяє використовувати сенсори та датчики для автоматизованого збору даних в реальному часі. Ці дані можна поєднати з розумними алгоритмами штучного інтелекту для прогнозування та моделювання ризиків повеней.

Блокчейн-технології можуть забезпечити безпеку та цілісність зібраних даних, унеможливлуючи їхню маніпуляцію чи зруйнування. Це особливо важливо при обробці даних, які використовуються для прийняття стратегічних рішень у сфері управління ризиками повеней.

Збір геоінформаційних та метеорологічних даних для аналізу повеней використовує цей розмаїтий набір джерел інформації, здатний надати зробити інформовані рішення та сприяти попередженню негативних наслідків природних катастроф.

Існують спеціалізовані ресурси та веб-сайти, з яких можна взяти геоінформаційні та метеорологічні дані, які можуть бути корисними для аналізу повеней:

NASA Earthdata: <https://www.earthdata.nasa.gov>. Цей веб-сайт надає доступ до супутникових зображень та геоінформаційних даних, які можуть бути використані для моніторингу клімату та стану навколишнього середовища, включаючи повені [135].

NOAA National Centers for Environmental Information: <https://www.ncei.noaa.gov>. NCEI є великим архівом метеорологічних даних, які включають історичні дані про погоду та статистику повеней.

European Space Agency: <https://www.esa.int>. ESA забезпечує доступ до данив спостереження з супутників, які можуть бути використані для моніторингу повеней в Європі.

United States Geological Survey: <https://www.usgs.gov>. USGS надає геоінформаційні дані, включаючи картографічні дані та дані про річки та озера, які можуть бути корисними для аналізу повеней.

Copernicus Emergency Management Service: <https://emergency.copernicus.eu>. Цей сервіс надає доступ до реального часу та

історичних даних про повені в Європі, включаючи дані зі супутників та метеорологічні прогнози.

Global Flood Monitor: <https://www.globalfloodmonitor.org>. GFM відстежує стан повеней у реальному часі за повідомленнями у Twitter та надає картографічні дані про ризики повеней по всьому світу.

World Meteorological Organization: <https://public.wmo.int/en>. WMO надає доступ до міжнародних метеорологічних даних та звітів, які можуть бути використані для аналізу погодних умов та повеней [136].

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: <https://www.ecmwf.int>. ECMWF надає точні погодні прогнози та дані для досліджень в галузі клімату та атмосфери.

4.3.2 Обробка та підготовка даних для моделювання та аналізу

Обробка та підготовка даних є фундаментальним етапом у будь-якому процесі аналізу даних та моделюванні. Якість та чистота даних мають прямий вплив на ефективність моделей машинного навчання або аналітичних результатів.

Під час обробки даних важливо виявити та виправити будь-які проблеми у вихідних даних, такі як відсутність значень, дублікати, помилки в даних, аномальні значення та інші аномалії. Крім цього, конвертація та кодування даних у формат, зрозумілий для моделей, а також відбір важливих ознак і нормалізація даних є важливими кроками для підготовки даних до подальшого аналізу чи моделювання [137].

Якісна підготовка даних допомагає забезпечити точність та стабільність моделей, а також дозволяє зробити більш точні та важливі висновки під час аналізу. Основні кроки, які включені до обробки та підготовки даних: збір даних, очищення даних, кодування категоріальних змінних, масштабування ознак, вибір ознак, розділення даних, робота з дисбалансом класів, обробка текстових даних, перевірка аномалій, фінальна підготовка даних.

Збір даних - це процес отримання інформації з різних джерел для подальшого аналізу та використання. Цей етап може бути ключовим для будь-якого проекту з обробки даних чи моделювання. Визначення джерел. Це можуть бути бази даних, API, веб-скрапінг, датчики IoT, файли у форматі CSV, JSON, SQL, або будь-які інші джерела, які містять важливу інформацію для вашого проекту. Розроблення стратегії збору. Це включає в себе визначення, які саме дані вам потрібні, як часто вони оновлюються, яким чином вони будуть збиратися (автоматизовано чи вручну) та в якому форматі. Збір та інтеграція даних. Після визначення джерел, потрібно збирати дані та інтегрувати їх у спільний формат, який зручний для подальшої обробки. Перевірка якості даних. Важливо перевірити дані на наявність пропущених значень, помилок або аномалій. Чисті та якісні дані є ключем до точних аналітичних результатів. Збереження даних. Збереження отриманих даних в безпечному та структурованому форматі, що дозволить легко керувати та з ними працювати. Законність та конфіденційність. Важливо дотримуватися вимог законодавства з охорони персональних даних та забезпечити конфіденційність та безпеку зібраних даних. Збір даних - це важливий етап, який визначає фундамент для подальшого аналізу та моделювання, тому важливо віддати йому достатню увагу та дотримуватися найкращих практик [138].

Очищення даних - це процес виявлення, корекції та усунення проблем у вихідних даних перед їх подальшим аналізом чи використанням у моделях. Ось деякі ключові аспекти цього процесу. Виявлення пропущених значень. Ідентифікація та робота з відсутніми даними, що може включати їх заповнення, видалення або врахування у моделях. Виявлення дублікатів. Пошук та видалення однакових записів чи дублікатів даних, щоб уникнути спотворення результатів. Корекція помилкових даних. Ідентифікація та виправлення помилкових значень, які можуть виникнути через помилки у введенні даних або системні помилки. Виявлення аномалій. Виявлення та обробка аномальних або незвичайних значень, які можуть спотворювати

аналітичні результати. Нормалізація даних. Приведення даних до стандартного формату чи діапазону для забезпечення правильності порівнянь та моделювання. Обробка текстових даних. Для аналізу тексту це може включати очищення від зайвих символів, токенизацію, лематизацію та вилучення стоп-слів. Видалення непотрібних ознак. Ідентифікація та вилучення зайвих або непотрібних ознак, які не несуть корисної інформації для моделювання. Перевірка консистентності. Впевненість у тому, що дані відповідають вимогам та мають консистентність у форматі та значеннях. Очищення даних є важливим етапом, оскільки воно допомагає забезпечити точність та надійність ваших аналітичних результатів або моделей, що будуються на цих даних [139].

Кодування категоріальних змінних - це процес перетворення текстових чи категоріальних даних у числовий формат, який можна використовувати для аналізу даних та побудови моделей машинного навчання. Ось декілька основних методів кодування категоріальних змінних. One-Hot Encoding. Цей метод перетворює категоріальні значення у вектори з 0 та 1. Кожне унікальне значення категорії стає новою колонкою, де 1 вказує на належність до цієї категорії, а 0 - ні.

було:	стане:		
Категорія	Червоний Синій Зелений		
-----	-----	-----	-----
Червоний	1	0	0
Синій	0	1	0
Зелений	0	0	1

Рисунок 3 – Кодування категоріальних змінних

Label Encoding. Цей метод присвоює числові мітки унікальним категоріям. Наприклад, Червоний - 0, Синій - 1, Зелений - 2. У цьому випадку

модель може сприймати порядок, який визначений цими числовими мітками. Target Encoding. Цей метод використовує цільову змінну для кодування категорій. Наприклад, для кожної категорії обчислюється середнє значення цільової змінної для цієї категорії і замінюється цим значенням. Frequency Encoding. Замість фактичних міток використовується частота кожної категорії у вибірці. Вибір методу кодування залежить від конкретного завдання, типу даних та моделі, яку ви збираєтеся застосувати. Кожен метод має свої переваги та недоліки, тому важливо обрати той, який найкраще підходить для вашого випадку.

Масштабування ознак - це процес приведення значень ознак до специфікованого діапазону. Це важливий крок у підготовці даних для багатьох алгоритмів машинного навчання та аналізу даних. Основні методи масштабування ознак. Нормалізація: Цей метод перетворює значення ознак так, що вони знаходяться в діапазоні від 0 до 1. Формула для нормалізації:

$$X_{\text{нове}} = \frac{X - X_{\text{мінімальне}}}{X_{\text{максимальне}} - X_{\text{мінімальне}}} \quad (12)$$

Стандартизація: Цей метод перетворює значення ознак так, що вони мають середнє значення 0 і стандартне відхилення 1 [140]. Він підраховує значення ознаки відносно її середнього значення та стандартного відхилення:

$$X_{\text{стандартне}} = \frac{X - \text{середнє}}{\text{стандартне відхилення}} \quad (13)$$

Обидва ці методи допомагають уніфікувати масштаб ознак, що дозволяє моделям краще працювати та зберігати стабільність у випадку великих відмінностей між значеннями ознак. Вибір між нормалізацією та стандартизацією залежить від конкретного алгоритму машинного навчання та особливостей даних. Наприклад, методи, що використовують відстані між точками (наприклад, метод опорних векторів SVM), частіше віддають перевагу стандартизації, тоді як нейронні мережі можуть користуватися нормалізацією.

Вибір ознак - це важливий етап у підготовці даних для моделювання, коли відбираються найбільш значущі та корисні ознаки для побудови моделі. Ось декілька методів вибору ознак. Аналіз важливості ознак. Деякі моделі машинного навчання (наприклад, дерева рішень, випадковий ліс) надають важливість кожній ознаці. Це дає можливість відібрати найбільш важливі ознаки. Кореляційний аналіз. Визначення взаємозв'язків між ознаками. Ознаки, які сильно корелюють між собою, можуть нести однакову інформацію, тому можна відібрати лише одну з них. Уніваріатний відбір [141]. Використання статистичних тестів (наприклад, аналіз ANOVA для класифікації, кореляція для регресії) для вибору ознак, які мають сильний статистичний зв'язок з цільовою змінною. Рекурсивне виключення ознак. Метод, де модель поступово виключає менш важливі ознаки з найменшим впливом на точність моделі. Вибір за моделлю. Такі методи, як LASSO (L1 регуляризація), можуть автоматично зменшити кількість ознак, зважаючи на їх важливість для моделі. Кращий метод вибору ознак залежить від специфіки даних, моделі, що буде використана, та завдання, яке ви намагаєтеся вирішити. Оптимальний підхід - спробувати кілька методів та порівняти їх результати для вибору найкращого набору ознак.

Розділення даних - це процес поділу доступного набору даних на окремі частини для тренування, валідації та тестування моделі. Це важливий етап, щоб оцінити ефективність моделі та запобігти перенавчанню. Ось кілька типових підходів до розділення даних. Тренувальний набір. Це частина даних, яка використовується для навчання моделі. Валідаційний набір. Використовується для налаштування параметрів моделі та оцінки її продуктивності під час навчання. Тестувальний набір. Ці дані залишаються виключно для остаточної оцінки продуктивності моделі після навчання та налаштування. Стандартний спосіб розділення - це використання відсотків, наприклад, 70% даних для тренування, 15% для валідації та 15% для тестування. Однак ці відсотки можуть змінюватися залежно від обсягу даних та конкретного завдання. Важливо дотримуватися цього розділення, щоб

переконалися, що модель не лише добре навчається на наявних даних, а й відмінно справляється з новими, раніше не баченими даними. Це допоможе уникнути перенавчання та забезпечить більш об'єктивну оцінку продуктивності моделі [142].

Дисбаланс класів - це ситуація, коли кількість прикладів одного класу у наборі даних суттєво відрізняється від кількості прикладів іншого класу. Це може виникнути у випадку, коли один клас переважає за кількістю у порівнянні з іншими класами. Для роботи з дисбалансом класів у завданнях класифікації можна використовувати наступні методи. Збалансованість класів. Збільшення обсягу менш представленого класу за рахунок додавання додаткових прикладів цього класу (шляхом семплування) або зменшення кількості прикладів більш представленого класу (шляхом доведення до меншої кількості екземплярів). Застосування ваг класів. Деякі моделі машинного навчання мають параметри, що дозволяють надати більш вагомий вплив менш представленим класам, зрівнюючи таким чином їх вплив на навчання моделі з іншими класами. Використання ресемплінгу. У методах ресемплінгу вибірки (наприклад, у техніках Oversampling та Undersampling) дані змінюються так, щоб уникнути переваги одного класу над іншим. Використання алгоритмів з урахуванням дисбалансу. Існують алгоритми класифікації, які спеціально розроблені для роботи з дисбалансом класів, такі як методи з урахуванням ваг класів у втратній функції чи алгоритми, які використовують різні стратегії для боротьби з дисбалансом. Cross-Validation. Використання перехресної перевірки для впевненості, що модель добре узагальнюється на невідомих даних, незважаючи на дисбаланс класів [143]. Вибір конкретного методу залежить від обсягу даних, специфіки проблеми та моделі, яку ви використовуєте. Комбінація кількох підходів часто допомагає покращити результати у випадках дисбалансу класів.

Обробка текстових даних - це важливий етап у багатьох задачах аналізу даних, особливо коли маємо справу з текстом, таким як відгуки, статті, соціальні медіа тощо. Ось кілька основних кроків обробки тексту. Токенізація.

Розбивання тексту на окремі слова чи токени. Це може бути просто розділенням по пробілам або більш складним процесом, який враховує пунктуацію та спеціальні символи. Чистка тексту. Видалення непотрібних символів, знаків пунктуації, цифр, спеціальних символів, а також стоп-слів (слів, які не несуть суттєвої інформації, наприклад, "і", "або", "не", "на"). Лематизація та стемінг. Це процес зведення слова до його базової форми. Лематизація робить це більш точно, враховуючи граматичні правила, тоді як стемінг просто відрізає закінчення для отримання основного слова. Векторизація тексту. Перетворення тексту в числовий формат, який можна використовувати для моделювання. Це може бути TF-IDF (term frequency-inverse document frequency) або Word Embeddings (наприклад, Word2Vec, GloVe) для створення числових векторів зі слів. Відбір ознак. Вибір найважливіших слів чи ознак для моделювання, що може включати TF-IDF ваги чи інші метрики. Навчання моделі. Використання оброблених текстових даних для побудови моделі (наприклад, класифікація, кластеризація, генерація тексту тощо). Ці кроки можуть варіюватися в залежності від конкретного завдання та потреби в обробці тексту. Текстова обробка може бути складною, але правильно виконана дозволяє отримати більш точні та ефективні моделі при аналізі тексту.

Перевірка аномалій в даних - це процес виявлення несподіваних чи відхильних від звичних патернів даних точок, які можуть бути результатом помилок у даних, незвичайних подій чи випадкових відхилень. Ось деякі підходи до виявлення аномалій. Статистичні методи. Використання статистичних метрик, таких як середнє, стандартне відхилення, квантилі, для виявлення точок, що виходять за межі звичайного розподілу даних. Методи машинного навчання. Використання алгоритмів машинного навчання, таких як Isolation Forest, Local Outlier Factor, One-Class SVM, які спеціалізуються на виявленні аномалій у великих обсягах даних. Кластеризація. Використання методів кластеризації, таких як k-means або DBSCAN, та виявлення точок, які не підпадають під який-небудь кластер. Аналіз відхилень. Порівняння

патернів даних чи трендів з нормальними очікуваннями, ідентифікація точок, які виходять за межі цих очікувань. Візуалізація даних. Використання графіків та візуальних методів для виявлення відхилень у розподілі даних, що може допомогти виявити аномалії. Важливо пам'ятати, що аномалії можуть бути корисними інформаційними точками чи же свідчити про помилки у даних. Однак вони можуть впливати на точність моделі чи аналітичні результати, тому важливо ретельно розглядати ці аномалії та при необхідності враховувати їх у подальшому аналізі.

Фінальна підготовка даних - це останній етап перед використанням даних у моделюванні або аналізі. Ось кілька кроків, які зазвичай включаються у цей процес. Об'єднання даних. Якщо є кілька джерел даних або різні таблиці з інформацією, їх можна об'єднати для подальшого аналізу чи моделювання. Розділення на навчальний та тестовий набори. Розділення даних на тренувальний та тестовий набори для оцінки продуктивності моделі на нових даних, які вона раніше не бачила. Масштабування чи нормалізація. Приведення числових ознак до стандартних діапазонів для забезпечення стабільності та швидкості збіжності алгоритмів. Кодування категоріальних ознак. Перетворення текстових чи категоріальних даних у числовий формат, наприклад, за допомогою one-hot encoding або label encoding. Обробка пропущених значень: Заповнення відсутніх даних чи видалення записів з пропущеними значеннями в залежності від контексту даних та впливу на аналіз. Видалення аномалій. Якщо аномалії були виявлені, їх можна врахувати або видалити, щоб уникнути впливу на модель. Фінальна обробка тексту. Якщо ви працюєте з текстовими даними, завершальна обробка, така як токенізація, лематизація та векторизація, також важлива для підготовки тексту для моделювання. Вибір ознак. Відбір найважливіших ознак для використання у моделі. Фінальна підготовка даних варіюється від завдання до завдання та вимагає уважності й аналізу, щоб забезпечити правильність та надійність даних для моделювання чи аналізу.

Адаптація підготовки даних до конкретного завдання є ключовою для ефективного аналізу. Різноманітність типів даних, дисбаланс класів, чутливість до пропущених значень та обсяги даних вимагають індивідуального підходу. Враховуючи контекст завдання та потреби моделі, важливо адаптувати процес підготовки даних для досягнення оптимальних результатів.

4.3.3 Використання геоінформаційного програмного забезпечення для створення карт та геопросторового аналізу

Геоінформаційне програмне забезпечення використовується для створення, аналізу та візуалізації геопросторової інформації на мапах. Це програмне забезпечення дозволяє працювати з географічними даними різного виду: векторними (точки, лінії, полігони) і растровими (зображення, наприклад, супутникові знімки). Основні функції ГІС включають: створення та редагування карт, аналіз геопросторових даних, візуалізація та картографування, аналіз просторових взаємозв'язків, моделювання.

Створення та редагування карт у геоінформаційних системах - це важлива частина роботи з геопросторовими даними. Ось кілька кроків, які допомагають у цьому процесі. Збір даних. Отримайте необхідні дані для вашої карти. Це можуть бути готові географічні файли, супутникові знімки, дані GPS тощо. Завантаження даних у програму ГІС. Відкрийте свою програму ГІС та завантажте потрібні дані. Вони можуть бути у форматі Shapefile, GeoJSON, або іншому форматі, залежно від програми. Створення нових об'єктів. Ви можете створювати нові об'єкти (точки, лінії, полігони) на карті. Це може бути корисним для додавання нових об'єктів або редагування існуючих. Редагування властивостей об'єктів. Після створення об'єктів ви можете редагувати їхні властивості та атрибути. Наприклад, додавання назви, додаткової інформації тощо. Символізація та візуалізація. Визначте, як ваші дані будуть виглядати на карті. Виберіть символи, кольори, типи ліній тощо

для кращої візуалізації. Збереження та експорт. Після завершення редагування збережіть вашу карту у відповідному форматі. Більшість програм ГІС дозволяють експортувати карту у різні формати, такі як JPEG, PNG, PDF, а також географічні формати для подальшого використання у програмах аналізу або обміну даними. Це загальний опис процесу створення та редагування карт у ГІС.

Аналіз геопросторових даних у геоінформаційних системах включає в себе різноманітні методи та інструменти для вивчення та розуміння географічної інформації. Просторовий запит. Це тип аналізу, що дозволяє фільтрувати геодані за певними критеріями просторового розташування. Наприклад, пошук усіх точок, які знаходяться в певній відстані від певного об'єкту. Просторовий злиття. Цей метод дозволяє об'єднувати геодані за спільними просторовими або атрибутивними характеристиками. Наприклад, об'єднання геоданих з різних джерел за співпаданням атрибутів. Просторовий аналіз взаємозв'язку. Це вивчення взаємодії між різними географічними об'єктами. Наприклад, визначення, як розташування певних об'єктів впливає на інші в просторі. Аналіз площини. Даний аналіз дозволяє розглядати різні показники або властивості в певній географічній області. Це може бути використано для вивчення властивостей певних територій. Просторова статистика. Вона охоплює різні методи обробки даних для виявлення статистичних закономірностей у просторі. Моделювання та прогнозування. ГІС можуть бути використані для створення моделей та прогнозування подій на основі геопросторових даних. Наприклад, прогнозування змін клімату, транспортних потоків тощо. Ці методи аналізу можуть застосовуватися в різних галузях, таких як географія, екологія, міське планування, транспорт та інші сфери, де важлива розуміння просторових взаємозв'язків та характеристик. У ГІС доступні різноманітні інструменти для проведення такого аналізу, які дозволяють отримувати нові знання та інсайти з геопросторових даних.

Візуалізація та картографування є важливою складовою геоінформаційних систем, оскільки вони дозволяють представити географічні дані у зрозумілій та зручній формі для сприйняття. Вибір візуальних елементів. Визначте, які елементи ви хочете відобразити на карті - це може бути точки, лінії, полігони, текстова інформація, зони різних категорій тощо. Вибір символів і кольорів. Оберіть символи та кольори для вашої карти, щоб найефективніше передати інформацію. Наприклад, використовуйте різні кольори для різних категорій даних, використовуйте різні типи ліній чи символів для виділення важливих об'єктів. Легенда. Створіть легенду, яка пояснює значення символів та кольорів на карті. Це допоможе користувачам зрозуміти, що саме вони бачать на карті. Масштаб та орієнтири. Додайте масштаб та орієнтири на карту, щоб користувачі могли оцінити відносні розміри об'єктів і визначити їхнє розташування. Анімація та інтерактивність. Іноді додавання анімації чи можливостей взаємодії з картою може полегшити сприйняття та розуміння даних. Картацентризм. Розміщення ключових об'єктів та інформації на карті так, щоб вона була зручною для користувача. Усі ці аспекти допомагають створити інформативну та зрозумілу карту, яка передає важливу географічну інформацію. ГІС програми зазвичай мають широкий спектр інструментів для створення карт та їхньої візуалізації, дозволяючи користувачам створювати картографічні продукти під свої потреби та вимоги.

Аналіз просторових взаємозв'язків у геоінформаційних системах полягає у вивченні взаємодії між різними географічними об'єктами та властивостями на просторовій основі. Це дозволяє розуміти, як об'єкти взаємодіють один з одним залежно від їхнього географічного розміщення. Просторовий автокореляційний аналіз. Цей аналіз визначає, чи існує статистична взаємозв'язок між значеннями атрибутів об'єктів та їхнім географічним розміщенням. Наприклад, чи є області з високим рівнем забруднення, які географічно збігаються. Просторова регресія. Вона використовується для вивчення взаємозв'язків між просторовими змінними.

Це дозволяє розуміти, які фактори просторово впливають на інші змінні. Географічний збіг. Цей метод допомагає встановити, чи мають два або більше об'єкти подібне географічне розміщення. Наприклад, збіг місць знаходження певних типів об'єктів або явищ. Аналіз географічних градієнтів. Він досліджує, як властивості змінюються в залежності від географічного положення. Це допомагає виявити шаблони та тенденції в розподілі даних на мапі. Кластерний аналіз. Цей метод ідентифікує групи об'єктів, які мають схожі властивості або знаходяться близько один до одного у просторі. Аналіз просторових взаємозв'язків важливий у багатьох сферах, таких як географія, екологія, економіка, містобудування та інші, оскільки допомагає зрозуміти географічні закономірності та взаємодії між об'єктами на мапі. ГІС надають інструменти для проведення цього аналізу, дозволяючи отримувати нові уявлення про просторові відносини в даних.

Моделювання у геоінформаційних системах включає створення віртуальних або математичних моделей географічних об'єктів або процесів для аналізу, прогнозування та вирішення проблем у реальному світі. Просторові моделі. Ці моделі відтворюють просторові відносини між об'єктами. Наприклад, моделі розподілу населення, руху транспорту, впливу змін клімату на екосистеми тощо. Гідрологічні моделі. Вони допомагають у розумінні руху води на земельній поверхні, прогнозуванні повеней, аналізі впливу забруднень тощо. Екологічні моделі. Ці моделі використовуються для вивчення взаємодії між екосистемами, прогнозування впливу людської діяльності на довкілля, виявлення зон ризику екологічних проблем тощо. Економічні моделі. Вони допомагають аналізувати економічні процеси в різних регіонах, прогнозувати розвиток місцевих економік, визначати оптимальні рішення у плануванні. Соціальні моделі. Вони досліджують взаємодію та поведінку суспільства на географічному рівні, допомагаючи у вирішенні проблем міського планування, розробці соціальних програм тощо. Моделі у ГІС дозволяють проводити віртуальні експерименти, прогнозувати результати та визначати найбільш ймовірні сценарії розвитку подій на основі географічних даних. Вони є

потужним інструментом для прийняття рішень у різних галузях та дозволяють краще розуміти складні взаємодії у географічному просторі.

Деякі популярні ГІС програми включають ArcGIS, QGIS, GRASS GIS, MapInfo Professional та інші. Вони надають користувачам можливість працювати з різними типами геоданих та виконувати широкий спектр аналітичних операцій для різних цілей, від наукових досліджень до природокористування та планування міст. Моделювання у геоінформаційних системах є важливою складовою аналізу географічних даних. Цей процес охоплює створення віртуальних та математичних моделей для розуміння та прогнозування географічних об'єктів та процесів. Моделі в ГІС дозволяють відтворювати складні взаємодії у просторі, допомагаючи аналізувати різні сценарії та прогнозувати можливі результати.

Вони допомагають розуміти взаємозв'язки між різними географічними об'єктами та феноменами, дозволяючи аналізувати вплив змін у географічних умовах. Це стає важливим для прийняття обґрунтованих рішень у плануванні, екології, економіці та соціальних науках.

Застосування моделей у ГІС дозволяє вирішувати складні проблеми, відображати взаємодії між різними чинниками та прогнозувати наслідки дій. Це робить моделі важливим інструментом для розуміння та вирішення географічних проблем у різних галузях.

4.4 Розробка та тестування моделей та алгоритмів

4.4.1 Розробка математичних моделей для прогнозування повеней

Прогнозування повеней - це складний процес, що включає в себе різноманітні математичні моделі. Це пов'язано з тим, що повені залежать від багатьох факторів, таких як погодні умови, географічні особливості території, гідрологічні характеристики водосховищ і річок, рельєф місцевості та інші.

Гідрологічні моделі використовуються для розуміння та передбачення руху води в гідрологічних системах, таких як річки, озера, водосховища та басейни. Ці моделі базуються на фізичних принципах гідрології та враховують різні фактори, що впливають на гідрологічні процеси. Основні компоненти гідрологічних моделей включають: опади, витрати, зберігання, рух води, гідрологічні моделі можуть бути різної складності. Врахування обсягу опадів (дощів, снігу тощо) і їхнього розподілу у просторі та часі. Оцінка витрат води через випаровування, змішання, стікання та фільтрацію. Врахування водних резервуарів, таких як сніг, льодовики, водосховища і ґрунтові води, та їх вплив на загальний обсяг води у системі. Моделювання потоків води в річках та струмках, включаючи розподіл води та час перебування води в системі. Від простих емпіричних моделей до складних фізичних моделей, що враховують диференціальні рівняння та чисельні методи для аналізу гідрологічних процесів. Ці моделі допомагають в розумінні та прогнозуванні реакції гідрологічних систем на різні внутрішні та зовнішні впливи, такі як зміни клімату, використання землі, інфраструктура тощо. Вони є важливим інструментом для управління водними ресурсами та заходами попередження повеней.

Статистичні моделі в контексті прогнозування повеней базуються на аналізі історичних даних та статистичних зв'язків між різними параметрами, такими як опади, рівень води в річках, вологості ґрунтів та інші. Ці моделі використовуються для передбачення майбутніх подій на основі статистичних залежностей, виявлених у минулих даних. Основні типи статистичних моделей для прогнозування повеней включають: регресійний аналіз, часові ряди, аналіз варіантів. Цей метод шукає зв'язки між різними змінними, наприклад, між обсягом опадів і рівнем води в річці. За допомогою регресійного аналізу можна розробити модель, яка дозволяє передбачити рівень води на основі певних показників. Ці моделі використовують історичні дані, щоб виявити патерни та циклічність у змінах рівня води. Аналізуючи ці патерни, можна робити прогнози щодо майбутніх водних рівнів на основі

даних про минулі. Цей підхід враховує різні можливі варіанти або сценарії для прогнозування повеней. Він може використовувати статистичні методи для оцінки ймовірності кожного сценарію та його впливу на рівень води. Статистичні моделі дозволяють прогнозувати повені на основі статистичних відношень, з'являються припущення щодо збереження цих відносин у майбутньому. Вони можуть бути корисними, особливо коли недостатньо фізичних даних для застосування більш складних фізичних моделей. Однак їх точність може бути обмеженою, особливо у випадках, коли система дуже складна чи коли має місце значна зміна у вихідних умовах.

Гідродинамічні моделі використовуються для моделювання руху води в річках, озерах, водосховищах та інших водоймах. Ці моделі базуються на рівняннях фізики руху рідини та враховують різноманітні фактори, такі як топографія території, геометрія водних шляхів, характеристики води та інші впливи. Основні характеристики гідродинамічних моделей: рівняння гідродинаміки, топографія та геометрія, властивості води, чисельні методи. Моделі використовують рівняння Нав'є-Стокса або їх спрощені варіанти для опису руху води. Ці рівняння описують основні принципи, що регулюють рух рідини, такі як збереження маси та закони зміни кількості руху. Моделі враховують вплив терену на рух води. Географічні особливості, такі як рельєф, річкові долини, глибина та ширина річок, враховуються для точного моделювання. Параметри води, такі як в'язкість, щільність, температура та інші фізичні характеристики, враховуються в моделях для точніших результатів. Для розв'язання складних рівнянь гідродинаміки використовуються чисельні методи, такі як метод скінчених елементів або метод скінчених об'ємів. Ці моделі дозволяють не лише передбачати рух води, а й визначати розподіл тиску, швидкості, рівнів затоплення тощо. Вони корисні для аналізу впливу інфраструктури, природних катастроф або інших факторів на рівні води та ступінь затоплення певних областей, що допомагає в управлінні ризиком повеней та плануванні заходів попередження.

Інтегровані моделі в гідрології та прогнозуванні повеней є складними системами, які об'єднують різні аспекти гідрології, гідродинаміки, кліматології, географії та інших наукових галузей для передбачення та аналізу повеней. Ці моделі розглядають широкий спектр факторів, які впливають на гідрологічні системи, і дозволяють отримати більш повне уявлення про реальні гідрологічні сценарії. Основні характеристики інтегрованих моделей: мультидисциплінарність, врахування багатьох факторів, попередження та управління ризиками, великі обсяги даних. Ці моделі поєднують дані та принципи з різних наукових галузей для створення комплексного уявлення про систему. Вони включають в себе кліматичні дані, географічні особливості, гідрологічні та гідродинамічні процеси, використання земель, гідротехнічні споруди та інші фактори, що впливають на повені. Ці моделі можуть використовуватися для розробки стратегій попередження повеней, планування екстремальних сценаріїв та оцінки наслідків повеней для прийняття рішень управління ризиками. Інтегровані моделі зазвичай працюють з великими обсягами даних, що потребують потужних обчислювальних ресурсів для аналізу та прогнозування. Ці моделі є потужним інструментом для розуміння та передбачення гідрологічних систем та повеней, оскільки вони дозволяють охоплювати багато різноманітних аспектів, важливих для аналізу таких складних природних явищ. Однак їх створення і використання вимагають значних знань та ресурсів, а також постійного вдосконалення для підвищення точності та надійності прогнозів.

Розробка математичних моделей для прогнозування повеней вимагає ретельного аналізу доступних даних, використання різних методів моделювання та їхню перевірку на точність прогнозування за допомогою реальних подій. Це постійний процес, оскільки нові дані та підходи постійно з'являються, дозволяючи вдосконалювати моделі прогнозування. Розробка моделей для прогнозування повеней - це складний процес, що охоплює різноманітні математичні підходи. Гідрологічні моделі використовують фізичні принципи, щоб розуміти гідрологічні процеси, такі як опади та рух

води. Статистичні моделі використовують історичні дані для прогнозування майбутніх подій. Гідродинамічні моделі моделюють рух води, враховуючи географічні особливості. Інтегровані моделі об'єднують ці аспекти та багато інших, розглядаючи велику кількість факторів, що впливають на повені. Кожен підхід має свої переваги та обмеження, але разом вони сприяють удосконаленню розуміння та передбачення цих складних гідрологічних явищ.

4.4.2 Реалізація алгоритмів і інтелектуальних систем

Втілення інтелектуальних систем та алгоритмів в життя вимагає не лише теоретичного розуміння принципів їх роботи, але й практичних навичок їх розробки та впровадження. Цей процес поєднує в собі творчий підхід до розробки алгоритмів, вміння перетворювати їх у функціональний код та вміння тестувати, вдосконалювати і підтримувати їх у реальному середовищі.

Створення інтелектуальних систем передбачає не лише розвиток алгоритмів, що вирішують конкретні задачі, але й узгоджену роботу з даними, розуміння специфіки задачі та вміння ефективно впроваджувати рішення в реальність. Впровадження інтелектуальних систем — це виклик, який потребує комбінації знань, вмінь та технічного досвіду для створення функціональних, ефективних та коректних рішень.

Реалізація алгоритмів і інтелектуальних систем може включати в себе декілька етапів: розробка алгоритму, написання коду, тестування і налагодження, впровадження, підтримка та вдосконалення.

Розробка алгоритму - це процес створення послідовності інструкцій, які вирішують конкретну задачу. Основна мета полягає в тому, щоб знайти ефективний спосіб розв'язання проблеми або виконання певної дії. Розуміння завдання. Ретельно проаналізуйте задачу, яку потрібно вирішити. Чим точніше ви усвідомите постановку завдання, тим ефективніше буде ваш алгоритм. Спрощення та декомпозиція. Розділіть велику задачу на менші підзадачі. Це допоможе зробити процес розв'язання більш зрозумілим і керованим. Вибір

підходу та структури даних. Виберіть підхід або алгоритм, який найбільш підходить для розв'язання кожної підзадачі. Обирайте структури даних, що оптимально відображають інформацію, з якою ви працюєте. Опис алгоритму. Запишіть послідовність кроків вашого алгоритму у вигляді псевдокоду або мовою програмування. Це допоможе вам уточнити його та перевірити логіку. Тестування та оптимізація. Протестируйте ваш алгоритм на різних вхідних даних, щоб переконатися, що він працює правильно. Потім вдосконалюйте його, шукаючи способи оптимізації швидкодії чи використання ресурсів. Документація. Завершіть розробку алгоритму, додаючи пояснення до коду або описуючи його функціональність. Це допоможе іншим розробникам (і вам самим у майбутньому) краще розуміти і використовувати цей алгоритм. Розробка алгоритму - це ітеративний процес. Ви можете повертатися до певних етапів, вдосконалювати та виправляти їх для досягнення кращого результату.

Написання коду - це втілення вашого алгоритму або програмного рішення у вигляді тексту, який комп'ютер може зрозуміти та виконати. Вибір мови програмування. Оберіть мову програмування, яка найкраще підходить для вашої задачі. Кожна мова має свої особливості і може бути більш або менш підходящою для конкретної ситуації. Розбиття на функції або модулі. Поділіть свій код на менші блоки, такі як функції або класи, які виконують конкретні завдання. Це полегшить читання, розуміння та відлагодження коду. Дотримання стандартів коду. Багато мов програмування мають стандарти форматування коду. Дотримання цих стандартів допомагає зробити ваш код більш зрозумілим для інших програмістів та для вас у майбутньому. Коментування коду. Додавання коментарів до вашого коду є важливим етапом. Це допомагає пояснити, що робить певний участок коду, що може бути корисним при подальшому редагуванні чи спільній роботі з іншими розробниками. Тестування. Після написання коду проведіть тестування, переконайтеся, що він працює правильно на різних вхідних даних та у різних сценаріях. Вдосконалення та оптимізація. Якщо код працює, подумайте про

можливість оптимізації. Це може включати покращення швидкодії, зменшення використання ресурсів чи покращення структури коду для зрозумілості. Написання коду - це творчий процес, який потребує вміння абстрагувати проблему та знати мову програмування. Це може займати час, але з практикою ви станете більш вправним програмістом.

Тестування і налагодження є важливим етапом у розробці програмного забезпечення. Одиниць тестування. Напишіть тести для окремих компонентів вашої програми (функції, методи). Це допоможе переконатися, що кожен компонент працює правильно незалежно від інших. Інтеграційне тестування. Після тестування окремих частин системи, виконайте тести, які перевіряють, як ці частини працюють разом. Це допомагає виявити проблеми, які можуть виникнути при їх взаємодії. Валідація вхідних даних і робота на межах. Перевірте, як ваша програма реагує на межі своїх можливостей. Наприклад, тести на максимальні/мінімальні значення, некоректні вхідні дані тощо. Тестування реальних умов. Спробуйте вашу програму у реальних умовах, які можуть виникнути при роботі з користувачем. Це може включати тести на реальних даних чи в реальному середовищі використання програми. Налагодження. Якщо ви виявили помилки під час тестування, використовуйте процес налагодження для їх виправлення. Використання інструментів налагодження дозволить вам виявити, аналізувати та виправляти помилки у вашому коді. Запис помилок і виправлення. Важливо докладати зусиль для виявлення помилок, фіксації їх у системі трекінгу помилок і вирішення цих проблем для покращення якості продукту. Тестування і налагодження допомагають не лише виявити помилки, але й зробити ваше програмне забезпечення більш надійним, функціональним та коректним у роботі.

Впровадження програмного забезпечення або інтелектуальної системи - це процес, який включає в себе кілька ключових кроків. Планування впровадження. Ретельно сплануйте процес впровадження, визначте етапи, ресурси та терміни. План має включати підготовку інфраструктури, необхідних даних, комунікаційних стратегій та планів навчання (якщо

потрібно). Тестування перед впровадженням. Переконайтеся, що програмне забезпечення пройшло всі необхідні тести і валідацію, і готове до реального використання. Пілотний запуск. Часто корисно спробувати впровадження на обмеженій аудиторії або в обмеженому обсязі, щоб оцінити ефективність та виявити можливі проблеми на ранніх етапах. Тренування та підтримка користувачів. Надайте достатній обсяг навчання та підтримки для користувачів нової системи. Це може включати тренування персоналу, створення документації або навіть підтримку через відповідні канали зв'язку. Моніторинг та оцінка ефективності. Слідкуйте за роботою системи після впровадження, оцінюйте її ефективність, збирайте відгуки від користувачів та вносьте вдосконалення, якщо це потрібно. Масштабування і підтримка. При потребі масштабуйте систему для розширення її функціональності або місткості. Забезпечуйте постійну підтримку для виправлення помилок та вирішення питань користувачів. Впровадження нової системи - це складний процес, який вимагає співпраці між різними відділами та ресурсами, а також уваги до деталей та потенційних проблем. Правильно спланований процес впровадження допоможе зробити перехід більш гладким та ефективним.

Підтримка та вдосконалення системи - це постійний процес, що включає в себе кілька важливих кроків. Моніторинг та збір даних. Постійно відстежуйте роботу системи, збирайте дані про її функціонування та взаємодію з користувачами. Це допоможе виявляти проблеми та знаходити напрямки для покращень. Виправлення помилок. Реагуйте на виявлені помилки якнайшвидше. Це може включати в себе виправлення програмних багів, а також реагування на запити користувачів щодо неполадок або проблем з системою. Впровадження оновлень і покращень. На основі зібраних даних та відгуків користувачів розробляйте та впроваджуйте оновлення та покращення системи. Це може включати нові функції, оптимізацію продуктивності та інші вдосконалення. Підтримка користувачів. Забезпечуйте надійну підтримку користувачів, відповідаючи на їх запити, надаючи інструкції щодо використання системи та вирішуючи їхні проблеми. Тестування перед

оновленнями. Перш ніж впроваджувати оновлення чи нові функції, ретельно тестуйте їх, щоб переконатися в їхній працездатності та сумісності з існуючим функціоналом. Залучення спільноти та відгуки користувачів. Спілкуйтеся з користувачами, слухайте їх відгуки та пропозиції щодо покращень. Вони можуть надати цінні ідеї для подальшого розвитку системи. Підтримка та вдосконалення системи - це постійний цикл, який допомагає забезпечити її актуальність, ефективність та відповідність потребам користувачів у змінному середовищі.

Цей процес може бути складним і вимагати різних навичок та знань з програмування, алгоритмів, тестування та оптимізації. Підтримка та постійне вдосконалення системи є ключовими елементами успішного функціонування будь-якого програмного забезпечення чи інтелектуальної системи. Цей процес вимагає постійної уваги до деталей, здатності адаптуватися до нових вимог користувачів та швидко реагувати на виявлені помилки. Заслуховуючи відгуки користувачів та активно залучаючи їх до процесу розвитку, можна створити продукт, який постійно росте, стаючи більш ефективним та корисним для своєї аудиторії.

4.4.3 Проведення тестів та аналіз результатів

Зважаючи на значущість тестування та аналізу результатів, це значний етап в життєвому циклі будь-якого продукту. Підхід до цього етапу включає в себе ретельне планування, створення комплексної стратегії тестування, а також використання різноманітних методик та інструментів. Тестування може бути автоматизованим або виконуватися вручну, і кожен з цих підходів має свої переваги. При автоматизованому тестуванні використовуються скрипти та програми для виконання тестів, що дозволяє зберегти час та знизити можливість людських помилок. Вручне тестування, з іншого боку, дозволяє інженерам перевірити продукт з позиції реального користувача та виявити аспекти, які можуть бути пропущені при автоматизованому тестуванні. Крім

того, аналіз результатів тестів передбачає не лише виявлення помилок, але й глибоке розуміння причин їх виникнення. Це дозволяє команді розробників та тестувальників виправити не тільки самі помилки, але й їхні корені, що забезпечує більш стабільну та масштабовану систему в майбутньому. Такий важливий етап, як проведення тестів та аналіз їх результатів, потребує систематичного підходу, тісної співпраці між різними командами розробників та тестувальників, а також постійної уваги до деталей.

Розділ, присвячений проведенню тестів та аналізу їх результатів, є фундаментальним етапом у життєвому циклі будь-якого програмного продукту. Це не лише можливість виявити помилки та уточнити функціонал, але й ключ до створення надійного, ефективного та конкурентоздатного продукту.

Тестування відображається на всіх етапах розробки, починаючи від валідації окремих функцій та завершуючи аналізом роботи системи в реальних умовах. Кожен проведений тест, кожен аналізований результат - це можливість удосконалити програму, зробити її більш надійною та готовою до використання. Цей розділ важливий не лише для виявлення проблем, але й для виявлення потенціалу. Аналіз результатів тестів - це можливість покращити продукт, зрозуміти потреби користувачів та підготувати програмне забезпечення до ефективної та успішної експлуатації.

4.5. Аналіз результатів та висновки

У зв'язку зі зростаючою кількістю та інтенсивністю повеней в різних регіонах світу, вивчення цих природних явищ та їх наслідків стає ключовим завданням. Дослідження масштабів, небезпек та можливих наслідків повеней вимагає використання різноманітних методів, включаючи геоінформаційні технології та інтелектуальний аналіз даних.

Цей розділ присвячений аналізу отриманих результатів дослідження, проведеного з метою визначення масштабу та небезпеки повеней. Він включає

у себе огляд отриманих даних, їх статистичний та просторовий аналіз, порівняння з історичними даними та моделювання для прогнозування ризиків.

Дослідження базується на методах збору інформації і покликане виявити ключові показники та шаблони, які дозволять краще розуміти і прогнозувати наслідки повеней. Аналіз результатів має на меті визначення стратегій управління ризиками та розробки рекомендацій для місцевих влад та зацікавлених сторін.

4.5.1 Аналіз отриманих результатів дослідження

Аналіз отриманих результатів дослідження повеней може включати декілька ключових етапів: статистичний аналіз, співставлення з історичними даними, просторовий аналіз, моделювання та прогнозування, оцінка впливу, виявлення висновків.

Статистичний аналіз у контексті дослідження повеней може включати кілька етапів. Описова статистика. Вона допомагає визначити основні характеристики даних про повені, такі як середні значення, медіани, дисперсія, діапазон, асиметрія та куртоз. Графіки. Використання графіків (гістограм, діаграм розмаху, лінійних графіків тощо) для візуалізації розподілу даних та виявлення будь-яких зразків чи викидів. Тестування гіпотез. Якщо доступні достатні дані, статистичні тести можуть допомогти визначити, чи є статистично значуща залежність між різними факторами та рівнем повеней. Кореляційний аналіз. Виявлення взаємозв'язків між різними змінними, такими як висота води, час тривалості повені, площа затоплення та інші фактори, що впливають на повені. Часовий аналіз. Дослідження змін у часі рівнів повеней для виявлення трендів або циклічних варіацій. Ці методи статистичного аналізу допомагають зрозуміти основні характеристики та залежності між різними аспектами повеней на основі зібраних даних.

Порівняння сучасних даних про повені з історичними даними є важливим етапом аналізу для виявлення тенденцій, змін та можливих причин,

які впливають на повені. Тривалість та інтенсивність повеней. Порівняння частоти, тривалості та інтенсивності повеней в сучасній епохі зі старими даними може розкрити зміни в кліматичних умовах або рівнях водойм, які можуть бути ключовими для розуміння поточної ситуації. Географічні зміни. Виявлення змін у розподілі повеней в різних регіонах протягом років може вказати на зміни у географічних умовах, використанні землі чи інфраструктурі, що впливають на ступінь небезпеки. Порівняння наслідків. Аналіз наслідків старіших повеней порівняно з сучасними може допомогти виявити зміни в рівні підготовки, управління кризовими ситуаціями та ефективності заходів попередження. Контекстуальний аналіз. Розуміння історичного контексту природних або антропогенних факторів, які спричиняли повені у минулому, може допомогти передбачити можливі шляхи подальшого розвитку ситуації. Причинно-наслідкові зв'язки. Встановлення причинно-наслідкових зв'язків між змінами у суспільстві, географічних умовах та іншими факторами та виникненням повеней у різні періоди часу. Це порівняння допомагає зрозуміти динаміку та зміни в поширенні повеней з плином часу та дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення щодо управління ризиками повеней.

Просторовий аналіз даних про повені може надати цінну інформацію про розподіл та характеристики цього природного явища в різних географічних областях. Картографування ризику повеней. Створення карт, які візуалізують рівень ризику повеней у різних областях. Це допомагає виділити зони з високим та низьким ризиком. Географічні інформаційні системи. Використання ГІС для аналізу та візуалізації географічних даних про повені, включаючи висоту води, типи ґрунтів, ландшафтні особливості та інші фактори. Спостереження за тенденціями. Виявлення просторових тенденцій у виникненні повеней, наприклад, утворення осередків збільшеного ризику в конкретних географічних областях. Аналіз зон ризику. Визначення областей, де збільшений ризик повеней може мати серйозні наслідки, та ідентифікація чинників, що спричиняють цей ризик. Моделювання розподілу води.

Використання моделей для прогнозування розподілу води під час повеней для кращого розуміння їхнього впливу на конкретні території. Просторовий аналіз дозволяє не лише візуалізувати географічний аспект повеней, але й розуміти причинно-наслідкові зв'язки та вплив різних географічних чинників на це природне явище.

Моделювання та прогнозування повеней є важливими етапами у розумінні та передбаченні цього природного явища. Гідрологічні моделі. Вони використовуються для моделювання руху води в річках та басейнах в залежності від опадів, танення снігу, водоспоживання тощо. Ці моделі допомагають передбачати висоту води та потенційні ризики повеней. Гідродинамічні моделі. Вони більш складні і дозволяють моделювати рух води в річках, на поверхні ґрунту та у водосховищах. Ці моделі враховують географічні особливості території та інженерні споруди. Статистичні моделі. Використання статистичних методів для аналізу минулих повеней та розробки прогностичних моделей на їх основі. Моделі машинного навчання. Вони використовують алгоритми для аналізу великих обсягів даних про повені та навчаються виявляти патерни, що допомагають у прогнозуванні майбутніх подій. Симуляції та віртуальні експерименти. Вони дозволяють проводити різні сценарії та експерименти для оцінки різних стратегій управління ризиками повеней. Ці методи допомагають відтворювати та передбачати можливі наслідки повеней на основі існуючих даних та розуміння природних процесів, що спричиняють повені.

Оцінка впливу повеней включає аналіз наслідків цього природного явища на різні сфери, такі як середовище, економіка, соціальний та інфраструктурний аспекти. Екологічний вплив. Аналіз впливу повеней на екосистеми, водні ресурси, ґрунти, рослинний та тваринний світ. Економічний вплив. Оцінка втрат у виробництві, збитків у сільському господарстві, знищення інфраструктури, втрат в галузі транспорту та торгівлі. Соціальний вплив. Врахування втрат людських життів, здоров'я та безпеки, евакуації населення, втрат житла та майна. Інфраструктурний вплив. Оцінка

зруйнованих будівель, мостів, доріг, електромереж, водопостачання та інших інженерних споруд. Ефективність заходів управління кризовими ситуаціями. Оцінка реакції та ефективності рятувальних служб, попереджувальних заходів та планів невідкладних заходів. Оцінка впливу повеней вимагає комплексного підходу та врахування багатьох аспектів, оскільки повені можуть мати широкий діапазон наслідків, що впливають на життя людей, економіку та навколишнє середовище.

Виявлення висновків у контексті дослідження повеней є важливим кроком для формулювання ключових відомостей та рекомендацій, що виникають із зібраних та проаналізованих даних. Підсумковий огляд. Зібрання основних результатів дослідження, що стосуються інтенсивності, частоти, масштабів та впливу повеней. Ідентифікація шаблонів та тенденцій. Виявлення повторюваних патернів у виникненні повеней та їхнього впливу на різні області. Визначення зон ризику. Встановлення областей з найвищим ризиком виникнення повеней та виявлення факторів, що сприяють цьому. Розробка рекомендацій. На основі виявлених висновків створення стратегій управління ризиками, вдосконалення систем попередження, планів невідкладних заходів та заходів адаптації. Комунікація результатів. Подання висновків у зрозумілій формі для зацікавлених сторін, урядових органів, науковців та громадськості. Додаткові дослідження. Визначення можливих напрямків подальших досліджень для покращення розуміння повеней та їхнього впливу. Висновки здебільшого становлять основу для розроблення стратегій управління ризиками повеней та рекомендацій з метою зменшення їхнього впливу на людей та інфраструктуру.

Після ретельного аналізу даних про повені та їхнього впливу виявлено кілька ключових аспектів. Повені проявляються різними інтенсивностями та частотами у різних регіонах, що свідчить про неоднакові ризики національного та глобального масштабу. Історичні дані показують зміни у розподілі та виникненні повеней, що може вказувати на вплив змін клімату та інших факторів на це природне явище.

Просторовий аналіз підтверджує наявність зон з підвищеним ризиком повеней, що робить питання управління ризиками надзвичайно важливим для цих областей. Оцінка впливу повеней показала серйозні наслідки для екологічних систем, економіки, інфраструктури та соціальних аспектів, що вимагає системних заходів управління кризовими ситуаціями та попередження.

Наявні висновки сприятимуть розробці стратегій управління ризиками, включаючи плани невідкладних заходів, покращення інфраструктури та підвищення готовності до небезпеки повеней. Додаткові дослідження необхідні для глибшого розуміння та ефективного контролю над цим природним явищем.

4.5.2 Визначення ефективності використаних геоінформаційних та інтелектуальних технологій

Визначення ефективності використаних геоінформаційних та інтелектуальних технологій у дослідженні повеней є ключовим аспектом в оцінці їхньої корисності та впливу на результати. Геоінформаційні технології спільно з інтелектуальними методами надають можливість більш ефективно аналізувати, візуалізувати та робити висновки з великого обсягу географічних даних. Ефективність геоінформаційних технологій полягає в їхній здатності:

- аналізувати просторові зміни;
- моделювати сценарії;
- візуалізації даних.

Аналіз просторових змін у контексті дослідження повеней включає оцінку та візуалізацію змін у розподілі цього природного явища на географічних мапах та просторових моделях. Цей аналіз допомагає розуміти та ідентифікувати зони з підвищеним або зміненим ризиком повеней. В процесі аналізу просторових змін, дані про повені можуть бути використані для: картографування ризику, аналіз зон затоплення, виявлення змін,

визначення причинно-наслідкових зв'язків. Створення карт, які відображають географічні області з різним рівнем ризику повеней. Це може включати високоризикові, середньоризикові та низькоризикові зони. Візуалізація та аналіз областей, які зазвичай зазнають затоплення під час повеней, для визначення їх розмірів, ступеня та частоти впливу. Порівняння історичних даних з поточними для виявлення змін у розподілі повеней та їх інтенсивності протягом часу. Спостереження за тенденціями: Виявлення просторових тенденцій у виникненні повеней, наприклад, зміни розподілу, еволюція областей з ризиком тощо. З'ясування факторів, які можуть впливати на просторові зміни у виникненні повеней, таких як зміна використання землі, кліматичні зміни або гідрологічні фактори.

Цей аналіз є важливим етапом для розуміння та прогнозування ризиків повеней у різних географічних областях та виявлення потенційних зон, де необхідні стратегії управління ризиками.

Моделювання сценаріїв повеней є важливим інструментом для прогнозування можливих наслідків цього природного явища в різних умовах. Це допомагає приймати обґрунтовані рішення та розробляти стратегії управління ризиками. Ось деякі аспекти моделювання сценаріїв повеней: гідрологічні моделі, гідродинамічні моделі, симуляції різних умов, прогнозування наслідків. Вони використовуються для відтворення руху води в річках та басейнах в залежності від різних чинників, таких як опади, водоспоживання, танення снігу тощо. Ці моделі дозволяють створювати різні сценарії виникнення повеней. Ці моделі детальніше враховують рух води в річках, на поверхні ґрунту та у водосховищах. Вони можуть симулювати реальні сценарії повеней та їхні наслідки. Моделювання різних сценаріїв, таких як інтенсивність опадів, рівень річки, затоплення в залежності від різних кліматичних умов або інфраструктурних змін. Використання моделей для прогнозування наслідків повеней, таких як затоплення, руйнування інфраструктури, втрати в різних сценаріях.

Моделювання сценаріїв повеней дозволяє прогнозувати наслідки різних варіантів та оцінювати ефективність стратегій управління ризиками у різних умовах, що є важливим для підготовки до можливих кризових ситуацій. Візуалізація даних про повені є потужним інструментом для розуміння та комунікації складних географічних та гідрологічних зв'язків. Ось деякі підходи до візуалізації даних: картографічні представлення, графіки та діаграми, інтерактивні візуалізації, теплові карти, анімації, 3D-візуалізація. Створення карт з використанням кольорів, шарів, відміток та інших графічних елементів для відображення розподілу повеней на географічній мапі. Використання лінійних графіків, стовпчикових діаграм, кругових діаграм та інших візуальних елементів для порівняння частоти, інтенсивності або тривалості повеней протягом часу. Створення інтерактивних дашбордів або веб-додатків, які дозволяють користувачам самостійно експериментувати з даними, вибрати параметри та переглядати специфічну інформацію. Використання кольорових теплових карт для відображення інтенсивності повеней у різних областях та в різний час. Створення анімацій, що демонструють динаміку руху води, зміни рівнів водоймищ та розподілу повеней з плином часу. Використання тривимірних моделей для відображення топографії, рельєфу та потенційних шляхів розповсюдження води під час повеней.

Візуалізація даних про повені допомагає зрозуміти географічний розподіл, тренди та динаміку цього природного явища, сприяючи кращому прийняттю рішень та ефективній комунікації інформації між зацікавленими сторонами.

Щодо інтелектуальних технологій, їхня ефективність проявляється у здатності: автоматизувати процеси, прогнозувати та робити рекомендації.

Автоматизація процесів у аналізі повеней може спростити та прискорити роботу з великим обсягом даних, покращити точність аналізу та забезпечити більш ефективні результати. Автоматичний збір та обробка даних. Використання скриптів або програм для автоматичного збору та обробки

даних про опади, рівні водоймищ та інші гідрологічні дані. Машинне навчання для аналізу даних. Використання алгоритмів машинного навчання для автоматичного розпізнавання патернів у даних про повені та прогнозування майбутніх подій. Створення автоматизованих звітів та дашбордів. Використання інструментів для створення автоматичних звітів, графіків та дашбордів з розподілом даних про повені для швидкого аналізу. Інтеграція з ГІС та іншими інструментами. Використання програмних інтерфейсів для автоматичної передачі даних між різними програмами для зручності роботи. Створення моделей прогнозування з автоматичним оновленням. Розроблення моделей прогнозування, які автоматично оновлюються з новими даними для покращення точності прогнозів. Автоматизація допомагає використовувати час та ресурси більш ефективно, забезпечуючи швидше прийняття рішень та знижуючи ймовірність помилок у процесі аналізу даних про повені.

Прогнозування повеней та робота з рекомендаціями базується на використанні доступних даних та аналізі їхньої динаміки. Моделювання ризику повеней. З використанням аналізу даних і методів прогнозування створюються моделі, які можуть передбачати імовірність та інтенсивність майбутніх повеней. Ці моделі можуть враховувати кліматичні, географічні та гідрологічні фактори. Створення системи попередження. На основі прогнозів ризику повеней створюються системи попередження, які автоматично видають попередження та рекомендації людям та організаціям у зоні потенційного ризику. Аналіз і виявлення патернів. Автоматичний аналіз даних дозволяє виявити патерни та тенденції у змінах повеней, що може стати основою для рекомендацій з підготовки та управління ризиками. Рекомендації для планування. На основі прогнозів та аналізу ризику можуть бути розроблені рекомендації для урядів, місцевих органів, громад та індивідуальних осіб щодо ведення планування заходів безпеки та захисту від повеней. Оновлення рекомендацій. Автоматичне оновлення рекомендацій на основі нових даних та прогнозів для забезпечення постійної актуальності та адаптації до змін ситуації. Ці процеси допомагають не лише прогнозувати повені, а й

забезпечувати конкретні та ефективні рекомендації, спрямовані на зменшення ризиків та захист від їхнього впливу.

Аналіз повеней та їхніх наслідків створює можливість прогнозування та встановлення рекомендацій для ефективного управління ризиками. Геоінформаційні технології та інтелектуальні методи виявляються надзвичайно корисними інструментами у цьому процесі. Аналіз просторових та статистичних даних дозволяє виявити патерни та тенденції у виникненні повеней, а також їхні наслідки для різних регіонів. Історичні дані порівнюються з поточними результатами, що допомагає у зрозумінні змін у розподілі цього природного явища. Моделювання сценаріїв та прогнозування допомагають передбачити можливі наслідки та визначити зони з підвищеним ризиком, що є основою для створення систем попередження та планування заходів безпеки.

Використання автоматизованих процесів у аналізі та прогнозуванні спрощує збір та обробку даних, а також дозволяє надавати оперативні та точні рекомендації для зменшення наслідків повеней. Загалом, цей аналіз допомагає врахувати потенційні ризики повеней та виробляти ефективні стратегії для забезпечення безпеки та захисту інфраструктури та населення від їхнього впливу.

4.5.3 Формулювання висновків щодо досягнутих результатів та їхньої важливості для управління повенями

Отримані результати дослідження повеней через застосування геоінформаційних та інтелектуальних технологій дозволяють сформулювати важливі висновки для управління повенями: розуміння ризику, прогнозування та попередження, автоматизація процесів, постійне вдосконалення.

Розуміння ризику пов'язаного з повенями відіграє критичну роль у вдосконаленні стратегій управління та мінімізації наслідків цього природного

явища. Завдяки глибокому аналізу геоінформаційних даних та використанню інтелектуальних технологій, розуміння ризику набуває кількох ключових аспектів. Ідентифікація зон ризику. Аналіз географічного розподілу повеней дозволяє точно визначити та умовно поділити територію на зони з підвищеним ризиком. Це важливо для планування заходів та адаптації до потенційних небезпек. Оцінка потенційних наслідків. Інтеграція даних про розмір, інтенсивність та частоту повеней дозволяє оцінювати можливі наслідки для людей, інфраструктури та екосистем. Прогнозування змін. Розуміння ризику передбачає аналіз тенденцій та прогнозування можливих змін у частоті, інтенсивності або розмірі повеней в майбутньому. Розробка стратегій управління ризиками. Інформація про ризики дозволяє розробляти та впроваджувати стратегії зниження ризику та захисту вразливих об'єктів. Розуміння ризику в повенях є ключовим елементом для раціонального планування та прийняття рішень щодо запобігання та мінімізації наслідків природних лих, сприяючи безпеці та збереженню життя та майна.

Прогнозування та попередження щодо повеней є ключовими аспектами ефективного управління ризиками. Прогнозувати події. Використання аналізу даних та моделювання для прогнозування можливих сценаріїв повеней, враховуючи різноманітні фактори, такі як кліматичні зміни та гідрологічні умови. Вчасне попередження. Створення систем попередження на основі прогнозів, що дозволяє передбачати та вчасно попереджати громадськість та відповідні органи про можливість повеней. Розробка надійних систем моніторингу. Використання сучасних технологій дозволяє створювати системи постійного моніторингу водних ресурсів та погодних умов для оперативного реагування на зміни. Ефективне управління кризовими ситуаціями. Представлення точної та актуальної інформації в разі повені допомагає управлінцям та екстреним службам приймати швидкі та обґрунтовані рішення. Розвиток планів захисту. Аналіз прогнозів та попереджень сприяє розвитку планів захисту та підготовки до можливих надзвичайних ситуацій. Прогнозування та попередження щодо повеней

відіграє критичну роль у зменшенні загрози для життя, майна та інфраструктури. Оперативна реакція та розумне управління на основі прогнозів можуть значно зменшити негативний вплив повеней на спільноту та середовище.

Автоматизація процесів управління ризиками повеней через використання геоінформаційних технологій та інтелектуальних систем дозволяє: швидко обробку та аналіз даних, постійний моніторинг, розробку моделей та прогнозів, створення автоматичних систем попередження, оптимізація стратегій управління. Автоматизовані системи можуть ефективно обробляти великі обсяги географічних та гідрологічних даних, забезпечуючи швидкий аналіз та ідентифікацію ризиків. Автоматизовані системи нагляду та моніторингу можуть постійно відслідковувати гідрологічні умови та інші фактори, надаючи оперативну інформацію для прийняття рішень. Використання алгоритмів машинного навчання для автоматичного створення прогностичних моделей, що допомагають у прогнозуванні ризиків повеней. На основі зібраних даних системи автоматичних повідомлень можуть надавати попередження та рекомендації з мінімальним людським втручанням. Автоматизація допомагає швидше адаптувати стратегії управління ризиками відповідно до змінних умов. Автоматизація процесів управління ризиками повеней робить аналіз більш точним, ефективним та оперативним, що сприяє підвищенню рівня безпеки та зменшенню можливих ризиків для спільноти.

Постійне вдосконалення процесів управління ризиками повеней є критичним для забезпечення ефективності та адаптації до змін у середовищі. Аналіз нових даних. Інтеграція нових даних та джерел інформації дозволяє отримувати більш повний та точний образ про потенційні ризики. Використання нових технологій. Впровадження новітніх технологій та інструментів у процеси аналізу й прогнозування для поліпшення точності та швидкості реакції. Оцінка ефективності. Постійний моніторинг та оцінка ефективності застосованих стратегій для виявлення слабких місць та можливостей для вдосконалення. Підвищення готовності. Розробка та

проведення тренувань для екстрених служб та громадськості для кращого реагування на надзвичайні ситуації. Участь у спільноті. Співпраця з вченими, урядовими установами, громадськістю та галузевими експертами для обміну знаннями та кращої практики. Постійне вдосконалення не лише дозволяє адаптуватися до змін у природних умовах, але й забезпечує більш ефективну та відповідальну реакцію на потенційні небезпеки повеней.

Отримані результати відображають не лише потенціал, але й суттєвий внесок у сферу управління ризиками повеней. Ці дані виступають як фундаментальний камінь для створення та впровадження новітніх стратегій, спрямованих на ефективний захист людей, інфраструктури та природного середовища від наслідків повеней. Використання геоінформаційних технологій та інтелектуальних систем створює можливість оперативно прогнозувати та реагувати на можливі ризики, роблячи процес управління більш ефективним та гнучким.

Автоматизація процесів дозволяє оптимізувати обробку даних, що в свою чергу зробить аналіз точнішим та оперативнішим. Нагальне вдосконалення цих підходів стає необхідністю для відповіді на постійні зміни у природному середовищі та вимоги безпеки спільноти. В результаті, ці практики працюють на користь постійного зростання ефективності управління ризиками повеней, сприяючи забезпеченню безпеки та захисту оточуючого середовища.

4.6. Рекомендації та подальші напрямки дослідження

У зв'язку з постійним розвитком технологій та необхідністю постійного удосконалення систем управління повенями, важливо розглянути можливості вдосконалення цих систем через використання геоінформаційних та інтелектуальних технологій. Цей розділ містить рекомендації та стратегії для оптимізації систем управління повенями, що базуються на передових технологіях. Реалізація цих рекомендацій може значно покращити

ефективність та точність передбачення та управління ризиками, пов'язаними з повеннями, сприяючи безпеці та захисту спільноти та навколишнього середовища.

4.6.1 Формулювання рекомендацій для вдосконалення систем управління повеннями з використанням геоінформаційних і інтелектуальних технологій

Щоб покращити системи управління повеннями за допомогою геоінформаційних та інтелектуальних технологій, можна внести такі рекомендації: розширення джерел даних, розвиток прогностичних моделей, оптимізація систем моніторингу, розвиток систем попередження, тренування персоналу, співпраця та обмін знаннями.

Розширення джерел даних є ключовим аспектом у покращенні систем управління повеннями. Використання геоінформаційних та інтелектуальних технологій вимагає не лише наявності широкого спектру інформації, але й постійного оновлення та розширення їх джерел. Супутникові знімки. Використання даних, отриманих від супутників, дозволяє отримувати деталізовану інформацію про стан водойм, динаміку русел та можливі зміни на місцевості, що важливо для точних прогнозів. Дані сенсорів. Впровадження сучасних сенсорів для вимірювання рівнів води, температури, вологості тощо, що дозволяє отримувати реальний часовий потік даних для аналізу. Гідрологічні дані. Збільшення доступу до гідрологічних даних, таких як історичні дані про рівні води та динаміку русел, для кращого розуміння змін та трендів у повеневих процесах. Спостереження на місці. Розширення мережі спостережень на місцевості через автоматизовані датчики та системи для надання реального часу на підтримку прийняття рішень. Збільшення доступу до цих джерел даних сприятиме покращенню аналітичних можливостей та точності прогнозів, що в свою чергу допоможе ефективніше управляти ризиками повеней.

Розвиток прогностичних моделей в управлінні ризиками повеней є важливою складовою для точних та надійних прогнозів і реагування на потенційні загрози. Використання машинного навчання. Впровадження алгоритмів машинного навчання для аналізу великих обсягів даних про погоду, гідрологічні показники та інші фактори для більш точних прогнозів. Інтеграція різних джерел даних. Об'єднання інформації з різних джерел, таких як супутникові знімки, метеодані, гідрологічні вимірювання та інші, для комплексного аналізу. Удосконалення математичних моделей. Розробка та вдосконалення фізичних моделей, що враховують гідрологічні процеси, кліматичні зміни та вплив людської діяльності на стан водних ресурсів. Врахування непередбачуваних факторів. Узгодження моделей для включення можливих непередбачених сценаріїв та варіантів розвитку подій у прогнозах. Перевірка та підтвердження точності. Постійне тестування та валідація моделей на історичних даних для підтвердження їхньої точності та надійності. Розвиток прогностичних моделей в управлінні ризиками повеней дозволить забезпечити більш точні та оперативні прогнози, що в свою чергу покращить здатність адміністрації реагувати на надзвичайні ситуації та мінімізувати наслідки повеней.

Оптимізація систем моніторингу грає важливу роль у покращенні управління ризиками повеней. Сучасні технології моніторингу. Використання передових сенсорів, IoT-технологій та автоматизованих систем для постійного контролю за рівнями води, станом русел та кліматичними умовами. Реальний час. Перехід до систем, що працюють у режимі реального часу, що дозволить оперативно реагувати на зміни та швидко передавати інформацію відповідним службам. Географічний охоплення. Збільшення покриття мережі моніторингу для охоплення великої кількості регіонів та водних об'єктів. Інтеграція даних. Поєднання інформації з різних джерел у єдину платформу для забезпечення повної та зрозумілої картини ситуації. Автоматизовані сповіщення. Впровадження систем автоматичних сповіщень та управління інформацією для швидкої передачі даних і відповідей на потенційні загрози. Аналіз та

прогнозування. Використання зібраної інформації для аналізу та прогнозування можливих наслідків та реакції на повені. Оптимізація систем моніторингу дає можливість більш точно та оперативно реагувати на зміни гідрологічних умов, що зменшує ризики та сприяє безпеці спільноти.

Розвиток систем попередження в управлінні ризиками повеней є важливим етапом для ефективного захисту життя, майна та інфраструктури. Швидке сповіщення. Розробка швидких та ефективних систем масового сповіщення про надзвичайні ситуації для населення через різні канали зв'язку (повідомлення на мобільний зв'язок, соціальні мережі тощо). Персоналізовані повідомлення. Можливість налаштування системи сповіщення таким чином, щоб кожна людина отримувала інформацію, адаптовану до конкретної ситуації та місця перебування. Прогнозування та вчасне попередження. Інтеграція прогнозів із системами попередження, що дозволяє попереджати спільноту про можливість небезпечних погодних умов та потенційних ризиків повеней. Тестування та навчання. Проведення регулярних тестів системи попередження та тренування громадськості щодо реагування на них. Гнучкість та доступність. Забезпечення доступності цих систем для людей з обмеженими можливостями та забезпечення їх працездатності в усіх умовах. Розвиток систем попередження дозволить ефективно та оперативно інформувати громадськість та відповідні служби про потенційні небезпеки повеней, що значно зменшить ризики та збереже життя та майно.

Тренування персоналу є ключовим аспектом підготовки до управління ризиками повеней. Екстрені сценарії. Проведення симуляцій екстрених ситуацій для тренування персоналу, щоб вони знали, як реагувати на надзвичайні ситуації. Використання технологій. Навчання персоналу використанню сучасних технологій, які допомагають в управлінні та передбаченні ризиків. Стандартні процедури. Опанування стандартних процедур та протоколів реагування на різні ситуації повеней. Співпраця та комунікація. Навчання співпраці та ефективної комунікації між різними службами та агентствами під час кризових ситуацій. Оновлення навичок.

Регулярне оновлення навичок та знань персоналу відповідно до останніх технологічних та стратегічних вдосконалень. Ефективне тренування персоналу дозволяє забезпечити готовність та компетентність у реагуванні на надзвичайні ситуації повеней, що робить управління ризиками більш ефективним та допомагає захистити спільноту від можливих небезпек.

Співпраця та обмін знаннями є ключовими удосконаленнями у сфері управління ризиками повеней. Спільна платформа. Створення спільних платформ для обміну даними та досвідом між відповідними агентствами та експертами. Регулярні зустрічі та конференції. Організація регулярних подій, таких як семінари, конференції та тренінги для обговорення кращих практик та передового досвіду. Глобальний обмін досвідом. Участь у міжнародних обмінних програмах та мережах для здобуття інсайтів від світових лідерів у сфері управління ризиками повеней. Партнерства. Розвиток партнерських відносин з приватними компаніями, державними установами та академічними установами для спільних проектів та досліджень. Публікації та звіти. Розповсюдження звітів, досліджень та кейсів успіху для сприяння взаємному навчанню та розвитку кращих практик. Співпраця та обмін знаннями у сфері управління ризиками повеней створюють платформу для збагачення знань, використання передового досвіду та розвитку інноваційних стратегій, що сприяють ефективному реагуванню на надзвичайні ситуації повеней.

Ці рекомендації можуть допомогти вдосконалити системи управління повенями за допомогою геоінформаційних та інтелектуальних технологій, сприяючи покращенню передбачуваності та відповідальності в управлінні ризиками. Управління ризиками повеней стає все більш складним завданням у зв'язку зі зростанням кількості та інтенсивності природних лих, пов'язаних з погодними умовами. Використання геоінформаційних технологій та інтелектуальних систем виявляється ключовим фактором для покращення ефективності управління цими ризиками. Збільшення доступу до різноманітних джерел даних, розвиток прогностичних моделей, оптимізація

систем моніторингу та систем попередження, тренування персоналу та співпраця для обміну знаннями є важливими кроками у цьому напрямку.

Ці ініціативи сприяють створенню більш точних та оперативних систем управління ризиками повеней, що дозволяє більш ефективно прогнозувати, аналізувати та реагувати на потенційні загрози. Розвиток цих підходів також важливий для підвищення рівня безпеки та захисту спільноти та навколишнього середовища. Застосування передових технологій управління ризиками повеней відображає сучасні вимоги безпеки та готовності до реагування на надзвичайні ситуації, що є надзвичайно важливим для збереження життя та майна та зменшення негативного впливу стихійних лих.

4.6.2 Визначення подальших напрямків дослідження в даній області

У сфері управління ризиками повеней ще багато напрямків, які потребують досліджень та вдосконалення. Деякі з них включають: інтеграція технологій, розширення прогностичних моделей, нові джерела даних, стійкість і адаптація, громадська участь, інновації у попередженні.

Інтеграція технологій у сфері управління ризиками повеней стає ключовим аспектом для створення комплексних та ефективних стратегій захисту. Системи збору даних. Об'єднання різноманітних джерел даних, таких як супутникові знімки, сенсори, соціальні медіа та традиційні джерела інформації для отримання повнішої та точнішої картини ситуації. Аналітичні системи. Використання штучного інтелекту та аналітики даних для обробки великих обсягів інформації та витягнення корисних висновків для прийняття рішень. Системи сповіщення та комунікації. Розробка автоматизованих систем сповіщення, які забезпечують оперативне та точне розповсюдження інформації про потенційні небезпеки. Геопросторові технології. Використання систем геопросторового аналізу для візуалізації даних та картирования ризикованих зон. Інтерактивні платформи. Створення інтерактивних платформ для обміну даними та співпраці між організаціями та громадськістю

для більш ефективного управління кризовими ситуаціями. Інтеграція цих технологій в управління ризиками повеней дозволить створити більш комплексні та оперативні системи, що сприятимуть ефективному реагуванню на небезпеку повеней та зменшенню їх впливу на спільноту та довкілля.

Розширення прогностичних моделей для передбачення ризиків повеней має велике значення для покращення точності та оперативності управління надзвичайними ситуаціями. Урахування змін клімату. Покращення моделей, щоб вони враховували нові тенденції у кліматичних змінах, що може впливати на частоту та інтенсивність повеней. Використання розширених даних. Інтеграція додаткових даних, таких як гідрологічні показники, даних супутникового зондування, а також соціально-економічних даних, для більш точного моделювання. Машинне навчання та штучний інтелект. Використання методів машинного навчання для покращення передбачуваності та точності моделей на основі навчання на великих обсягах даних. Урахування несподіваних ситуацій. Розробка моделей, які можуть працювати в умовах недостатньої або нечіткої інформації для прогнозування непередбачуваних подій. Застосування ансамблевих моделей. Використання комбінації різних модельних підходів для отримання більш точних та різносторонніх прогнозів. Розширення прогностичних моделей є важливим кроком у напрямку вдосконалення передбачення ризиків повеней, що допоможе забезпечити більш точні та зрозумілі дані для ефективного управління ризиками і захисту вразливих об'єктів та спільнот.

Використання нових джерел даних є перспективним напрямком для покращення прогностичних моделей та управління ризиками повеней. Соціальні медіа. Аналіз публічних повідомлень у соціальних мережах може надати швидкі й актуальні дані про ситуацію під час повеней та реакцію громадськості. Дрони та аерофотознімання. Використання даних, отриманих від дронів або з висоти, може допомогти у точному картуванні територій та змін природних об'єктів під час повеней. Інтернет речей. Сенсори, розміщені в різних місцях, можуть забезпечувати постійний потік даних про рівні води,

температуру, опади та інші параметри, що важливі для передбачення повеней. Блокчейн для підтвердження даних. Застосування технології блокчейну для забезпечення надійності та цілісності даних про гідрометеорологічні умови. Спутникові дані. Використання продвинутих супутникових технологій для надання точної та широкомасштабної інформації про гідрологічні умови. Ці нові джерела даних можуть значно покращити прогностичні моделі та допомогти у розробці більш точних та оперативних стратегій управління ризиками повеней.

Спроможність систем управління ризиками повеней до стійкості та адаптації до змін у кліматичних умовах є надзвичайно важливою. Системи раннього попередження. Розвиток більш ранніх систем сповіщення, що дозволяють належну підготовку та реагування на надзвичайні ситуації. Інфраструктура стійкості. Підвищення стійкості інфраструктури, такої як підвищення гребель та водозахисних споруд, щоб зменшити можливі наслідки повеней. Планування ризиків. Впровадження програм планування ризиків для міст та регіонів, які передбачають адаптацію до змін клімату та ризиків повеней. Комунікація та освіта. Інформування громадськості та освітня робота щодо важливості адаптації до змін клімату та власних заходів управління ризиками повеней. Гнучкість та інновації. Здатність до швидкого реагування та впровадження новітніх технологій та стратегій в управлінні ризиками. Стійкість і адаптація в управлінні ризиками повеней є ключовими факторами у зменшенні їхнього впливу на спільноту та інфраструктуру. Розвиток цих аспектів дозволить збільшити відповідність систем управління ризиками повеней до змінюючихся умов та зменшить їхній негативний вплив.

Розширення громадської участі в управлінні ризиками повеней є важливим елементом для створення більш ефективних та прийнятних для громади стратегій. Інформування та освіта. Забезпечення доступу до інформації про потенційні ризики повеней та ведення освітніх кампаній для формування у громадян усвідомленості про них. Консультації та зустрічі. Проведення консультаційних зустрічей, де представники громади можуть

ділитися своїми думками та враховувати їх у планах управління ризиками. Співпраця при плануванні. Залучення громадськості до процесу розробки стратегій управління ризиками повеней, що дозволяє враховувати їх потреби та перспективи. Системи сповіщення та реагування. Навчання громадськості щодо використання систем сповіщення та дій в разі повені. Моніторинг та звітність. Забезпечення громадськості доступом до результатів моніторингу та звітності щодо управління ризиками. Громадська участь в управлінні ризиками повеней сприяє створенню більш демократичних та ефективних стратегій, що враховують реальні потреби та перспективи спільноти, забезпечуючи більшу підтримку та відповідальність у реалізації заходів.

Інновації у сфері попередження повеней можуть значно поліпшити ефективність систем управління ризиками. Розумні системи моніторингу. Використання сенсорів та IoT для створення систем моніторингу, які автоматично надсилають дані про рівні води, стан інфраструктури тощо. Прогностичні моделі на основі штучного інтелекту. Розробка складних алгоритмів машинного навчання для точного прогнозування та аналізу можливих наслідків повеней. Геоспатіальні технології. Використання сучасних ГІС-технологій для точного картування ризикованих зон та прогнозування потенційних наслідків. Моделювання великих обсягів даних. Використання аналітики великих даних для швидкого та точного аналізу та прогнозування ризиків повеней. Екологічні рішення інженерії. Розробка екологічно орієнтованих інженерних рішень, таких як зелені системи збереження води або відновлювальні енергетичні джерела для підвищення стійкості і зниження ризику. Інноваційні підходи в попередженні повеней можуть розширити можливості управління ризиками, зменшити їхні наслідки та забезпечити більш ефективне захист громади та інфраструктури.

Управління ризиками повеней - це складний процес, що потребує комплексного підходу та постійного вдосконалення. Використання геоінформаційних технологій та інтелектуальних систем виявляється важливим етапом для покращення ефективності прогнозування,

попередження та зменшення наслідків повеней. Застосування інноваційних технологій, розширення джерел даних, залучення громадськості та інші новаторські підходи сприяють покращенню точності прогнозів, швидкості реакції на небезпеку та підвищенню стійкості і адаптації до змінних умов.

Продовження розвитку та імплементація цих стратегій та технологій в управлінні ризиками повеней не лише підвищують рівень безпеки спільноти, а й є важливим кроком у забезпеченні сталого розвитку та збереженні довкілля для майбутніх поколінь. Дослідження в цих напрямках може сприяти подальшому покращенню систем управління ризиками повеней та сприяти розвитку більш ефективних та інноваційних стратегій для захисту громади та довкілля від повеней.

Висновки до розділу 4

Геоінформаційні і інтелектуальні технології є невід'ємною складовою сучасного аналізу та прогнозування небезпеки повеней. Вони надають можливість збирати, обробляти та аналізувати величезні обсяги геопросторової інформації для прийняття обґрунтованих рішень у визначенні масштабу та небезпеки повеней.

Ці технології дозволяють використовувати географічну інформацію, дані з супутників, лазерного сканування, гідрометеорологічні дані та інші джерела для створення моделей поведінки водних потоків, визначення можливих зон загрози та ризику повеней.

Інтелектуальні системи аналізують ці дані, використовуючи алгоритми штучного інтелекту, машинного навчання та аналізу великих даних. Вони допомагають у прогнозуванні ризику повеней, виявленні та класифікації потенційно небезпечних областей, а також у розробці стратегій запобігання та мінімізації шкідливих наслідків повеней.

Отже, використання геоінформаційних і інтелектуальних технологій сприяє покращенню ефективності прийняття рішень у сфері визначення масштабу та небезпеки повеней, дозволяючи забезпечити більш точні та оперативні заходи захисту та управління водними ресурсами.

ВИСНОВКИ

Під час виконання роботи було проведено:

– розробку інтелектуальних методів обробки просторової інформації та ранжування територій за ступенем придатності для розміщення об'єктів твердих побутових відходів (ТПВ) на основі просторового аналізу і апарату нечіткої логіки з метою підвищення ефективності процесу підтримки прийняття рішень по управлінню відходами. Візуалізація результатів пошуку придатного місця розташування об'єктів ТПВ у вигляді карти місцевості.

– досліджено розвиток та застосування методів класифікації даних дистанційного зондування землі (ДЗЗ) та сучасних ГІС-технологій з метою оцінки динаміки змін стану земель сільськогосподарського призначення шляхом визначення ділянок з різною щільністю рослинності і особливостей сезонної вегетації.

– проведено розробку та дослідження засобів оцінки захищеності систем критичної інфраструктури та аналіз стану впровадження інформаційних систем для доступу споживачів до відкритої інформації про поточний стан екологічної безпеки.

– досліджено передумови та перспективи розроблення нейро-нечіткої технології обробки різнорідних просторових даних для моделювання зон затоплення в ГІС з використанням космічних знімків з високим просторовим розрізненням.

Стислий опис результатів

Розроблено метод геопросторового багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню об'єктів твердих побутових відходів, який є ГІС-орієнтованим і відрізняється від існуючих тим, що формалізує нечітку інформацію про допустиму форму компромісу між оцінками альтернатив за різними критеріями, що дозволяє виконати ранжування альтернатив за

ступенем придатності для розміщення об'єктів твердих побутових відходів з урахуванням різних стратегій прийняття рішень.

Удосконалено прикладну інформаційну технологію геопросторового багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню об'єктів твердих побутових відходів, яка дозволяє врахувати вимоги екологічних та санітарно-будівельних норм з метою зменшення негативного впливу об'єкту на навколишнє середовище та автоматизувати процес обробки вихідної геопросторової інформації та ранжування територій за ступенем придатності для розміщення об'єктів твердих побутових відходів.

Виконано практичну реалізацію запропонованих методів і моделей у вигляді просторової системи підтримки прийняття рішень, яка була протестована для вирішення задачі ранжування території півдня Одеської області за ступенем придатності для розміщення полігону твердих побутових відходів при різних стратегіях прийняття рішень. Доведено, що використання запропонованої системи підтримки прийняття рішень дозволяє отримати скорочення часу на аналіз територій (за окремими етапами на 65–75%) в порівнянні з традиційними способами, скорочення часу передпроектних робіт в 1.5 рази, зниження ймовірності виникнення помилок за рахунок автоматизації всіх етапів аналізу, а також підвищення обґрунтованості рішень завдяки формалізації нечіткої інформації про переваги та схильності до ризику при прийнятті рішень.

Розроблено програмне забезпечення для оцінки динаміки змін стану земель сільськогосподарського призначення півдня Одеської області з використанням методів збору і обробки даних ДЗЗ та сучасних ГІС-технологій.

Виконано впровадження результатів роботи у діяльність ТОВ «Гідроактив» (м. Одеса). Результати досліджень впроваджено у навчальний процес кафедри інформаційних технологій Одеського державного екологічного університету.

Проведено дослідження засобів оцінки захищеності систем критичної інфраструктури та аналіз стану впровадження інформаційних систем для доступу споживачів до відкритої інформації про поточний стан екологічної безпеки. Особливу увагу було приділено дослідженню властивостей систем захисту критичної інформаційної інфраструктури критичної інфраструктури.

В напрямки магістерських досліджень впроваджено питання розробки застосунків для моніторингу поточного екологічного стану.

Досліджено показники блочно-симетричних шифрів та їх властивості, які є невід'ємною частиною оцінки захищеності при проектуванні криптоалгоритмів. На основі критерію розповсюдження та суворого лавинного критерію функцій багатозначної логіки, введено показники максимального та інтегрального відхилення від суворого лавинного критерію S-блоків, що дозволяє оцінювати та порівнювати степінь відхилення від вимог СЛК криптографічних конструкцій різних довжин при їх уявленні всіма можливими способами за допомогою функцій багатозначної логіки. Для введених показників максимального та інтегрального відхилення від СЛК знайдені максимальні і мінімальні значення для довільної довжини функцій багатозначної логіки. Проведено дослідження та порівняння лавинних властивостей компонентних функцій багатозначної логіки криптоалгоритмів AES (США), Калина (Україна), Кузнечік (Росія) і BelT (Білорусь).

Також, увагу приділено питанням розробки методів багатокритеріального аналізу рішень з розміщення просторових об'єктів на основі застосування апарату теорій нечітких множин і нечіткої логіки. Прикладний аспект теорії подано у вигляді створених ГІС-орієнтованих програмних засобів обробки та аналізу просторової інформації для пакету ESRI ArcGIS 10.7. Результати досліджень впроваджено у навчальний процес кафедри інформаційних технологій Одеського державного екологічного університету. Так, розроблено мобільний застосунок для моніторингу екологічного стану на платформі андроїд.

Впровадження результатів в навчальний процес:

Підготовані нові лекційні курси та цикли лабораторних робіт:

лекційні курси – «Методи та моделі нечіткої логіки», «Просторове моделювання та ГІС-аналіз», «Картографічні WEB-сервіси», «Прийняття рішень в ГІС», «Геоінформатика та ГІС».

цикл лабораторних робіт з дисципліни – «Просторове моделювання та ГІС-аналіз», «Прийняття рішень в ГІС», «Картографічні WEB-сервіси»;

За темою дослідження виконано 12 магістерських робіт;

Наукові результати

За темою дослідження підготовано та видано 24 статі у фахових наукових виданнях України та у далекому зарубіжжі, в тому числі 15 статей, що входять до НМБ Scopus (4 статті входять до квартилю Q2, 1 – Q3). Видано 2 монографії та 6 розділів монографій. Результати досліджень доповідались на 19 міжнародних конференціях в Україні та за у зарубіжжі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Програма поводження з твердими побутовими відходами в Одеській області на 2018-2022. URL: <http://oblrada.odessa.gov.ua/wp-content/uploads/03-21-VII.pdf>. Доступ 18 грудня 2017.
2. Кузніченко СД, Бучинська ІВ. Використання нечіткої моделі обробки геопросторових даних в системі управління твердими побутовими відходами. Матеріали 7-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Інформаційні системи та технології", присвяченої 55-річчю кафедри Прикладної математики ХНУРЕ, 55-річчю кафедри Програмної інженерії ХНУРЕ та 40-річчю кафедри Прикладної математики та інформаційних технологій ХНУМГ імені О.М. Бекетова, Коблеве-Харків, 10–15 вересня 2018 р. с 174–178.
3. T. L. Saaty, "Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytical Network Process," RWS Publication, Pittsburgh, 1996.
4. T. L. Saaty, "Theory and Application of Analytical Network Process," RWS Publication, Pittsburgh, 2005.
5. Зима Р. Вибір майданчиків для об'єктів розміщення підприємств переробки відходів, 1990.
6. Malczewski J. GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*. 2004. Vol. 62, P. 3–65.
7. Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*. 2006. Vol. 20, Issue 7. P. 703–726. doi: [10.1080/13658810600661508](https://doi.org/10.1080/13658810600661508)
8. Mardani A., Jusoh K., MD Nor Z., Khalifah N., Zakwan A., Valipour A. Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. 2015. Vol. 28, Issue 1, P. 516–571. doi: [10.1080/1331-677X.2015.1075139](https://doi.org/10.1080/1331-677X.2015.1075139)
9. Mat NA., Benjamin A.M., Abdul-Rahman S. A review on criteria and

- decision-making techniques in solving landfill site selection problems. *Journal of Advanced Review on Scientific Research*. 2017. Vol. 37, Issue 1, P. 14–32. ISSN: 2289-7887
10. Feo DG., Gisi DS. Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal. *Waste Manag.* 2014. Vol. 34, Issue 11. P. 2225–2238.
 11. Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, volume 31. J. Wiley & Sons, Engineering, New York
 12. . Malczewski J. On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. *Transactions in GIS*. 2000. Vol. 4, Issue 1. P. 5-22.
 13. Malczewski J. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. NY, Wiley & Sons Publ., 1999, 392 p. Moscow, Drofa Publ., 2004, 208 p.
 14. S. A. Mahini and M. Gholamafard, “Siting MSW Landfills with a Weighted Linear Combination Methodology in a GIS Environment,” *International Journal of Environmental Science Technology*, Vol. 3, No. 4, 2006, pp. 435-445.
 15. Drobne S., Lisec A. Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging disposal. *Informatica*. 2009. Vol. 33. P. 459-47.
 16. M. Z. Siddiqui, J. W. Everett and B. E. Vieux, “Landfill Siting Using Geographic Information Systems: A Demonstration,” *Environmental Engineering*, Vol. 122, No. 6, 1996, pp. 515-523. doi:10.1061/(ASCE)07339372(1996)122:6515
 17. T. L. Saaty, “What is the Analytic Hierarchy Process?,” in *Mathematical Models for Decision Support*, 2011.
 18. T. L. Saaty, “Better world through better decision making,” *Proc. Int. Symp. Anal. Hierarchy Process* 2013, pp. 1–9, 2013.
 19. Wang G., Qin Li.G., Chen L. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing. China: *Journal of*

- Environmental Management. 2009. Vol. 90 P. 2414–2421. doi: 10.1016/j.jenv-man.2008.12.008
20. Beskese A, Demir H.H., Ozcan H.K. et al. Landfill site selection using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS: a case study for Istanbul. *Journal of Environmental Earth Science*. 2012. Vol. 73. P. 3513–3521. doi: [10.1007/s12665-014-3635-5](https://doi.org/10.1007/s12665-014-3635-5)
 21. A. Manu, Y. A. Twumasi, T. L. Coleman, I. A. Maiga, and K. Klaphake, “Database Development for Urban Planning Using Photogrammetry and GIS Techniques: The Case of Niamey,” Niger Paper presented at the 5th African Association of Remote Sensing of the Environment (AARSE Conference), Nairobi, 2004.
 22. D. S. Stinnette, “10 Steps to Successful Facility Siting,” 1996. Waste age, Internet Available: <http://wasteage.com>
 23. S. Sadek, E. F. Mutasem and F. Fadel, “Compliance Factors within A GIS-Based Framework for Landfill Siting,” *International Journal of Environmental Studies*, Vol. 63, No. 1, 2006, pp. 71-86. doi:10.1080/00207230600562213
 24. Boroushaki S., Malczewski J. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS disposal. *Computers & Geosciences*. 2008. Vol. 34, P. 399–410. doi: [10.1016/j.cageo.2007.04.003](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.04.003).
 25. Belton V, Steward T (2002) *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Kluwer Academic Publishers, p 372.
 26. Zadeh L (1963) Optimality and non-scalar-valued performance criteria. *IEEE Trans Automat Contr* 8:59–60.
 27. Malczewski J (2000). On the use of weighted liner combination method in GIS: Common and best practice approaches. *Transactions in GIS* 4(1):5–22.
 28. Marler RT, Arora JS (2010) The weighted sum method for multi-objective optimization: new insights. *Structural and multidisciplinary optimization* 41(6):853–862.
 29. Saaty T (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.

30. Saaty T (2002) Decision making with the analytic hierarchy process. *Scientia Iranica* 9(3):215–229.
31. Saaty T, Figueira F, Greco S, Ehrgott M (2005) The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London, p 345–408.
32. Hwang CL, Yoon K (1981) *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer-Verlag.
33. H. Ahmadi MS, Rad MN, Ibrahim O, Almaee A (2013) Ranking the micro level critical factors of electronic medical records adoption using TOPSIS method. *Health Informatics. An International Journal* 2(4):19–32.
34. Serafim Opricovic (1998) "Multicriteria Optimization in Civil Engineering" (in Serbian), Faculty of Civil Engineering, Belgrade, p 302. ISBN 86-80049-82-4.
35. Opricovic S, Tzeng G-H (2004) "The Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS". *European Journal of Operational Research* 156(2):445–455.
36. Bernard R (1968) "Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)". *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO)* 8:57–75.
37. Brans JP, Mareschal B, Vincke Ph. (1984) PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis. *Operational Research*, North-Holland, Amsterdam, p 477–490.
38. Brans JP, Mareschal B, Vincke Ph (1986) How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research* 24(2):228–238.
39. Brans J, Mareschal B (2005) Promethee methods. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, p 163–195.

40. Eppe S, De Smet Y (2014) Approximating PROMETHEE II's net ow scores by piecewise linear value functions. *European journal of operational research* 233(3):651–659.
41. Кузнiченко СД, Гунченко ЮО, Бучинська ІВ (2018) Нечiтка модель обробки геопросторових даних в мультикритерiальному аналізі придатності територій. Збiрник наукових праць Вiйськового iнституту Киiвського нацiонального унiверситету iменi Тараса Шевченка. К.: ВiКНУ, 61:90–103
42. Kuznichenko S, Buchynska I (2018) A Multicriteria industrial site selection methodology using MCDA, fuzzy set theory and GIS. Праці III Мiжнародної конференції «Комп'ютерна алгебра та iнформацiйні системи», м.Одеса, 20–25 серпня 2018 р. с 11–14
43. Шипулін ВД (2014) Основи ГiС-аналiзу: навч. Посiбник. Харк. нац. ун-т мiськ. госп-ва iм. О. М. Бекетова. Х: ХНУМГ, с 330.
44. Sarah Boslaugh, *Statistics in a Nutshell*, 2nd Edition (2012) - O'Reilly Media, Inc. ISBN: 9781449361143
45. Buchynska I (2019) A GIS-based fuzzy multi-criteria analysis approach to industrial site selection. *Econtechmod. University of Engineering and Economics in Rzeszow, Rzeszów, Poland*, 8(3):17–22. ISSN 2084-5715.
46. Кузнiченко СД, Бучинська ІВ (2019) Рiшення нечiткої багатокритерiальної задачі розміщення просторового об'єкта на основi геоiнформацiйних технологiй. V Мiжнародна науково-практична конференція «Обчислювальний iнтелект (результати, проблеми, перспективи)». Матерiали конференції, м. Ужгород, 15–20 квітня 2019 р. с 104–105.
47. Кузнiченко СД, Бучинська ІВ, Коваленко ЛБ (2019) Пiдхiд до вирiшення нечiткої багатокритерiальної задачі вибору варiантiв розміщення територiально-розподiлених об'єктiв в ГiС. Матерiали Мiжнародної науково-практичної конференції «Iнформацiйні технологiї та

- комп'ютерне моделювання», м. Івано-Франківськ, 20–25 травня 2019 р. с 74–77.
48. Yager R (1988) “On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making”, *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics* 18:183–190.
 49. Kuznichenko S, Buchynska I (2018) Using the GIS technologies and fuzzy logic methods to support decision-making on placing landfills for solid waste. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «Теоретичні та прикладні аспекти застосування інформаційних технологій в галузі природничих наук»*, м. Одеса, 6–8 червня 2018 р. с 9–13.
 50. Кузніченко СД, Бучинська ІВ, Коваленко ЛБ (2019) Використання OWA-оператора Ягера з нечіткими квантифікаторами в ГІС-орієнтованих багатокритеріальних моделях прийняття рішень. *Матеріали 8-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Інформаційні системи та технології"*, Коблеве-Харків, 9–14 вересня 2019 р. с 113–116.
 51. Аверченков ВИ Лагереv АВ, Подвесовский АГ (2012) Представление и обработка нечеткой информации в многокритериальных моделях принятия решений для задач управления социально-экономическими системами. *Вестн. Брян. гос. техн. ун-та* 2(34):97–104.
 52. Кузніченко СД, Бучинська ІВ (2019) Вибір операторів агрегування для багатокритеріальної оцінки придатності територій. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*, 2019. – Том 2 № 6. – С.46–56.
 53. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України. К.: ТОВ «ВИК-ПРИНТ», 2010. 111 с.
 54. Зацерковний В.І., Кривоберець С.В. Аналіз можливості підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва при застосуванні ГІТ у задачах управління. *Вісник ЧДТУ. Серія «Технічні науки»*. № 3(67). Чернігів.: ЧДТУ, 2013. с. 174 – 183.

55. Грабак Н.Х., Топіха І.Н. та ін. Основи ведення сільського господарства та охорона земель. Навчальний посібник. К., 2005. 796 с.
56. Зацерковний В.І. Геоінформаційні системи і системи дистанційного зондування Землі в задачах ефективного землекористування. Математичне моделювання в економіці. 2014. Вип. 1. с. 40-48.
57. Лялько В.И. Вульфсон Л.Д., Жарый В.Ю. [и др.] Аэрокосмические методы в геоэкологии. К.: Наукова думка. 1992. 206 с.
58. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2016 році. Одеська обласна державна адміністрація. Департамент екології та природних ресурсів. [Електронний ресурс] URL:
http://ecology.odessa.gov.ua/files/ecology_portal/reg_onal_dopov_d_2016.pdf (дата звернення: 16.09.2018).
59. Сайт Центру оцінки соціальних і екологічних ризиків. [Електронний ресурс]. URL: <https://coser.com.ua> (дата звернення: 16.09.2018).
60. Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Серапинас Б.Б., Филиппов Ю.А. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. М: ГИС Ассоциация, 1999. 204 с.
61. Офіційний сайт USGS (Геологічної зйомки США). [Електронний ресурс]. URL: www.usgs.gov (дата звернення: 20.09.2020).
62. Landsat 8 (L8) Data User Hand Book- Section 2 [Електронний ресурс]. URL: <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-l8-data-users-handbook-section-2> (дата звернення: 24.09.2020).
63. Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering, Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351. 1973.I, p.309-317
64. Tucker, C.J., Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. Remote Sensing of the Environment, 1979, 8, p. 127-150.

65. Jackson, R.D., P.N. Slater, and P.J. Pinter, Discrimination of Growth and Water Stress in Wheat by Various Vegetation Indices Through Clear and Turbid Atmospheres. *Remote Sensing of the Environment*. 1983. 15, p. 187-208.
66. Sellers, P.J., Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. *International Journal of Remote Sensing*. 1985.6, p.1335-1372.
67. NDVI – теорія і практика [Електронний ресурс]. URL: <http://gislab/info/ga/ndvi.html> (дата звернення: 27.09.2018).
68. Определение Open Source. [Електронний ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення: 29.09.2020).
69. Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Boehner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.*, 8, 1991-2007. URL: Режим доступу: <http://www.geosci-model-dev.net/8/1991/2015/gmd-8-1991-2015.html> (дата звернення: 02.10.2020).
70. Сайт завантаження ЦМР USGS. [Електронний ресурс]. URL: <http://edc2.usgs.gov/geodata/index.php> (дата звернення: 08.10.2018).
71. Геосервіс Libra. [Електронний ресурс]. URL: <https://libra.developmentseed.org/> (дата звернення: 11.10.2020).
72. Сайт безкоштовної платформи для точного землеробства OneSoil. [Електронний ресурс]. URL: <https://onesoil.ai/ru/> (дата звернення: 14.10.2020).
73. Офіційний сайт Leaflet. [Електронний ресурс]. URL: <http://leafletjs.com/> (дата звернення: 01.11.2020).
74. GREEN PAPER ON A EUROPEAN PROGRAMME FOR CRITICAL INFRASTRUCTURE PROTECTION [Електронний ресурс]. URL: <http://eur-lex.europa.eu/> (дата звернення: 27.09.2021).
75. Communication from the Commission of 12 December 2006 on a European Programme for Critical Infrastructure Protection [Електронний ресурс]. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/> (дата звернення: 22.04.2021).

76. A Communication on Protecting Europe's Critical Energy and Transport Infrastructure [Електронний ресурс]. URL: <http://eur-lex.europa.eu/> (дата звернення: 04.03.2021).
77. COUNCIL DIRECTIVE 2008/114/EC of 8 December on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection [Електронний ресурс]. URL: <http://eur-lex.europa.eu/> (дата звернення: 16.07.2021).
78. Постанова Кабінету Міністрів України від 23.12.2004 № 1734 «Про затвердження переліку підприємств, які мають стратегічне значення для економіки та безпеки держави»
79. Постанова Кабінету Міністрів України від 28.07.2003 № 1170 «Про затвердження переліку особливо важливих об'єктів електроенергетики, які підлягають охороні відомчою воєнізованою охороною у взаємодії із спеціалізованими підрозділами інших центральних органів виконавчої влади»
80. Положення про єдину державну систему запобігання, реагування і припинення терористичних актів та мінімізації їх наслідків (затверджене Постановою Кабінету Міністрів України № 1051 від 15.08.2007 р.)
81. Постанова Кабінету Міністрів України від 24.04.99 року №675-019 «Щодо затвердження Переліку об'єктів, які підлягають охороні і обороні в умовах надзвичайних ситуацій і в особливий період»
82. Постанова Кабінету Міністрів України від 10 серпня 1993 р. №615 «Про заходи щодо вдосконалення охорони об'єктів державної та інших форм власності» (із змінами)
83. Закон України від 18.01.2001 № 2245-III «Про об'єкти підвищеної небезпеки»
84. Перелік особливо небезпечних підприємств, припинення діяльності яких потребує проведення спеціальних заходів щодо запобігання заподіяння шкоди життю та здоров'ю громадян, майну, спорудам,

- навколишньому природному середовищу / Затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 06.05.2000 №765
85. Постанова Кабінету Міністрів України від 29.08.2002 р. № 1288 «Про затвердження Положення про Державний реєстр потенційно небезпечних об'єктів»
 86. Наказ Держатомрегулювання від 17.12.2012 № 238 «Про затвердження Переліку радіаційно небезпечних об'єктів в Україні, для яких розробляється об'єктова проектна загроза»
 87. Закон України від 13.03.2012 №4499-VI «Про систему екстреної допомоги населенню за єдиним телефонним номером 112»
 88. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament of 20 October 2004 – Critical infrastructure protection in the fight against terrorism (COM/2004/702 final) [Електронний ресурс]. URL: <http://eur-lex.europa.eu/> (дата звернення: 15.07.2021).
 89. Communication from the Commission on a European Programme for Critical Infrastructure Protection (COM/2006/786 final) [Електронний ресурс]. URL: <http://eur-lex.europa.eu/> (дата звернення: 15.07.2021).
 90. Green paper on a European programme for critical infrastructure protection (COM/2005/576 final) [Електронний ресурс]. URL: <http://eur-lex.europa.eu/> (дата звернення: 16.07.2021).
 91. Proposal for a Directive of the Council on the identification and designation of European critical infrastructure and the assessment of the need to improve their protection (COM/2006/787 final) [Електронний ресурс]. URL: <http://eur-lex.europa.eu/> (дата звернення: 20.09.2021).
 92. Council Directive 2008/114/EC “On the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection” [Електронний ресурс]. URL: <http://eur-lex.europa.eu/> (дата звернення: 20.09.2021).
 93. Commission staff working document – Accompanying document to the proposal for a Council decision on creating a Critical Infrastructure Warning

- Information Network (CIWIN) – Impact assessment (SEC/2008/2702) [Електронний ресурс]. URL: <http://eur-lex.europa.eu/> (дата звернення: 16.07.2021).
94. Положення про функціональну підсистему єдиної державної системи запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру «Безпека об'єктів ядерної енергетики» [Електронний ресурс]. URL: <http://www.snrc.gov.ua/> (дата звернення: 12.11.2021).
95. Batty, M. GIS and Geocomputation: Innovations in GIS 7: інновації в геоінформаційних системах та геокомп'ютерінгу. Wiley, 1999. 352 сторінки.
96. Bedient, P.B., Huber, W.C., Vieux, B.E. Hydrology and Floodplain Analysis: гідрологія та аналіз рівнів повені. Pearson, 2017. 784 сторінки.
97. Behnisch, M., Meinel, G. Flood Risk Assessment and Management: New Developments: оцінка та управління ризиком повеней: нові розробки. Springer, 2017. 296 сторінок.
98. Brabec, E., Schulte, S., Richards, P. Floodplain Management: A New Approach for a New Era: управління рівнинами повені: новий підхід для нової епохи. Island Press, 2019. 312 сторінок.
99. Burrough, P.A., McDonnell, R.A. Principles of Geographical Information Systems: принципи географічних інформаційних систем. Oxford University Press, 2015. 352 сторінки.
100. Campbell, J.B. Introduction to Remote Sensing: вступ до дистанційного зондування. Guilford Press, 2019. 696 сторінок.
101. Chang, K.T. Introduction to Geographic Information Systems: вступ до геоінформаційних систем. McGraw-Hill Education, 2017. 400 сторінок.
102. Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. Applied Hydrology: прикладна гідрологія. McGraw-Hill Education, 2014. 592 сторінки.

103. De Smith, M.J., Goodchild, M.F., Longley, P.A. Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide: геопросторовий аналіз: інструкція з вивчення. Troubador Publishing Ltd, 2018. 400 сторінок.
104. Dixon, B., Uddameri, V. GIS and Geocomputation for Water Resource Science and Engineering: геоінформаційні системи та геокомп'ютерінг у науці та інженерії водних ресурсів. Wiley, 2016. 432 сторінки.
105. Fotheringham, A.S., Rogerson, P.A. Spatial Analysis and GIS: просторовий аналіз та геоінформаційні системи. CRC Press, 2015. 432 сторінки.
106. Goodchild, M.F., Kemp, K.K. N. N. Spatial Decision Support Systems: просторові системи підтримки прийняття рішень. Oxford University Press, 2018. 320 сторінок.
107. Hromadka, T., Castelletti, A. Flood Risk Assessment and Management: оцінка та управління ризиком повеней. Wiley, 2019. 280 сторінок.
108. Jensen, J.R., Jensen, R.R. Principles of Geographic Information Systems: принципи геоінформаційних систем. Wiley, 2019. 544 сторінки.
109. Khan, S., Srivastava, P.K. Remote Sensing and GIS in Flood Management: дистанційне зондування та геоінформаційні системи в управлінні повенями. Springer, 2014. 245 сторінок.
110. Kite, G. Remote Sensing and GIS Accuracy Assessment: оцінка точності дистанційного зондування та геоінформаційних систем. CRC Press, 2017. 368 сторінок.
111. Konecny, G. Geoinformation: Remote Sensing, Photogrammetry, and Geographic Information Systems: геоінформаційні технології: дистанційне зондування, фотограмметрія та географічні інформаційні системи. CRC Press, 2016. 712 сторінок.
112. Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W. Remote Sensing and Image Interpretation: дистанційне зондування та інтерпретація зображень. Wiley, 2014. 736 сторінок.

113. Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rhind, D.W. Geographic Information Systems and Science: геоінформаційні технології. Wiley, 2015. 560 сторінок.
114. Maidment, D.R. Arc Hydro Groundwater: GIS for Hydrogeology: геоінформаційні системи для гідрології. ESRI Press, 2016. 412 сторінок.
115. Maidment, D.R. Handbook of Applied Hydrology: прикладний довідник з гідрології. McGraw-Hill Education, 2016. 1552 сторінки.
116. Malczewski, J. GIS and Multicriteria Decision Analysis: геоінформаційні системи та багатокритеріальний аналіз прийняття рішень. Wiley, 2009. 392 сторінки.
117. Marakas, G.M. Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers: системи підтримки прийняття рішень: концепції та ресурси для менеджерів. Wiley, 2002. 400 сторінок.
118. Parker, D.J., Wilby, R.L. Floods: Physical Processes and Human Impacts: повені: фізичні процеси та людські наслідки. Wiley, 2013. 304 сторінки.
119. Quan, L., Goodchild, M.F. Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications: географічні інформаційні системи: принципи, техніки, управління та застосування. Springer, 2016. 320 сторінок.
120. Sui, D.Z., Elwood, S. Geospatial Technologies and Homeland Security: Research Frontiers and Future Challenges: роль геоінформаційних технологій у забезпеченні безпеки. Springer, 2007. 312 сторінок.
121. Uddameri, V. Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources: використання дистанційного зондування та геоінформаційних систем у гідрології та водних ресурсах. Wiley, 2012. 368 сторінок.
122. Zandbergen, P.A. GIS for Critical Infrastructure Protection: геоінформаційні системи для захисту критичної інфраструктури. CRC Press, 2018. 298 сторінок.

123. Zhu, X. GIS for Environmental Applications: A Practical Approach: геоінформаційні системи для екологічних застосувань: практичний підхід. Routledge, 2019. 264 сторінки.
124. Ганущак-Іванченко, В.В., Колесник, О.С. Геоінформаційні технології у дослідженні природних катастроф: на прикладі повеней та зсувів ґрунту: монографія. Видавництво Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2019. 192 сторінки.
125. Дубина, В. П., Зарицький, І. В. Геоінформаційні системи та технології: навч. посібник: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 336 сторінок.
126. Захарчук, М.В., Марчук, І.Ю. Геоінформаційні системи та їх використання для аналізу гідрометеорологічних процесів: навчальний посібник. Видавництво Житомирського державного університету імені Івана Франка, 2017. 168 сторінок.
127. Іванюк, В.В., Якимчук, І.В., Курівський, О.М. Геоінформаційні системи та технології в гідрометеорології: навч. посібник. Київський університет, 2019. 200 сторінок.
128. Іщенко, Г.В., Підгорний, О.В. Геоінформаційні технології в ресурсозбереженні: навчальний посібник. Видавництво Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2016. 240 сторінок.
129. Кашуба, В.С., Калініченко, О.О. Геоінформаційні системи: введення у методи і технології: Київський університет, 2018. 256 сторінок.
130. Кіндзерський, В.С. Геоінформаційні технології в задачах гідрометеорологічного забезпечення гідрологічної безпеки: монографія. Київський університет, 2017. 240 сторінок.
131. Козловський, В.В. Геоінформаційні технології в аграрному виробництві: навчальний посібник. Видавництво Національного університету біоресурсів і природокористування України, 2016. 224 сторінки.
132. Коробейніков, А.Г., Лопатюк, В.М., Лагута, О.П. Геоінформаційне моделювання небезпеки та наслідків природних явищ: навч. посібник. Національний університет "Львівська політехніка", 2016. 312 сторінок.

133. Костюк, О.В., Ткачук, М.М. Геоінформаційні технології в екології та охороні навколишнього середовища: навчальний посібник. Видавництво Чернігівського національного технологічного університету, 2018. 176 сторінок.
134. Кочарян, В.Д., Литвиненко, Ю.М., Швабін, Л.В. Геоінформаційні системи в кадастрі та землеустрої: навчальний посібник. Видавництво Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького, 2019. 224 сторінки.
135. Курковський, І. І., Костюк, Т. І. Геоінформаційні системи та технології у геологічних дослідженнях: Львівський національний університет ім. І. Франка, 2017. 312 сторінок.
136. Левченко, О.С., Ємельянов, О.В., Галаган, І.М. Геоінформаційні технології в забезпеченні безпеки людини: підручник. Видавничий дім "Освіта", 2018. 240 сторінок.
137. Лисенко, О.О., Чорнодуб, О. І., Хімчак, О. В. Геоінформаційні технології у географічному виборі місць розташування об'єктів: НТШ, 2015. 200 сторінок.
138. Мельничук, М.Д., Крилов, С.П., Шевчук, І.М. Геоінформаційні технології в геології: навчальний посібник. Львівський національний університет ім. Івана Франка, 2017. 208 сторінок.
139. Мельничук, М.Д., Шевчук, І.М. Геоінформаційне забезпечення управління водними ресурсами: підручник. Львівський національний університет, 2018. 184 сторінки.
140. Петров, Л.Л., Дубина, В.П., Головка, В.П. Геоінформаційні технології в аграрній галузі: практикум. Видавництво Львівської політехніки, 2017. 256 сторінок.
141. Сокол, В.М., Кікоть, В.А. Геоінформаційні технології в археології та культурології: навчальний посібник. Львівський національний університет ім. Івана Франка, 2018. 176 сторінок.

142. Тищенко, А. О., Зелінський, В. К. Геоінформаційні системи в аграрній науці: методологія застосування: НУБіП України, 2016. 184 сторінки.
143. Шемчук, І.І., Дейнека, О.О. Геоінформаційне забезпечення аграрної галузі: підручник. Видавництво Сумського державного університету, 2019. 184 сторінки.
144. Шевчук В. Методика дослідження змін деформації русел рік прикарпатського регіону. [Електронний ресурс] URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/may/1656/gka71200908.pdf>
145. Мороз О., Тартачинська З., Лубенець Л. Основні причини виникнення руйнівних повеней і паводків у прикарпатті та геодезичний моніторинг як метод запобігання їм. [Електронний ресурс] URL: https://vlp.com.ua/files/09_69.pdf
146. Адаменко М. І., Васильченко О. В., Дармофал Е. А., Данілін О. М. Шляхи удосконалення методу обчислення обсягу стоку з поверхні ґрунту. [Електронний ресурс] URL: http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/14955/1/61-67-Adamenko_Vasilchenko_Darmofal_Danilin.pdf
147. Беженар Р. Прогнозування небезпечних впливів радіоактивно забруднених поверхневих вод і затоплення берегів: розвиток моделей та їх впровадження для зменшення наслідків надзвичайних ситуацій у м. Києві, спричинених водами о. Дніпро. [Електронний ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265931X21000874>
148. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки. [Електронний ресурс] URL: https://uhmi.org.ua/pub/np/253/18_Sosedko+Luk.pdf
149. Бабаджанова О.Ф., Гринчишин Н.М., Сукач Ю.Г. Небезпека розвитку і поширення повеней [Електронний ресурс] URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_8/90_Bab.pdf

ДОДАТКИ

Додаток А
Карти індексу NDVI за період вегетації



Рисунок А.1 – Карти NDVI півдня Одеської області за:
а) – 30 квітня 2018 року; б) – 1 червня 2018 року; в) – 3 липня 2018 року;
г) – 6 серпня 2018 року; д) – 20 серпня 2018 року; е) – 21 вересня 2018 року

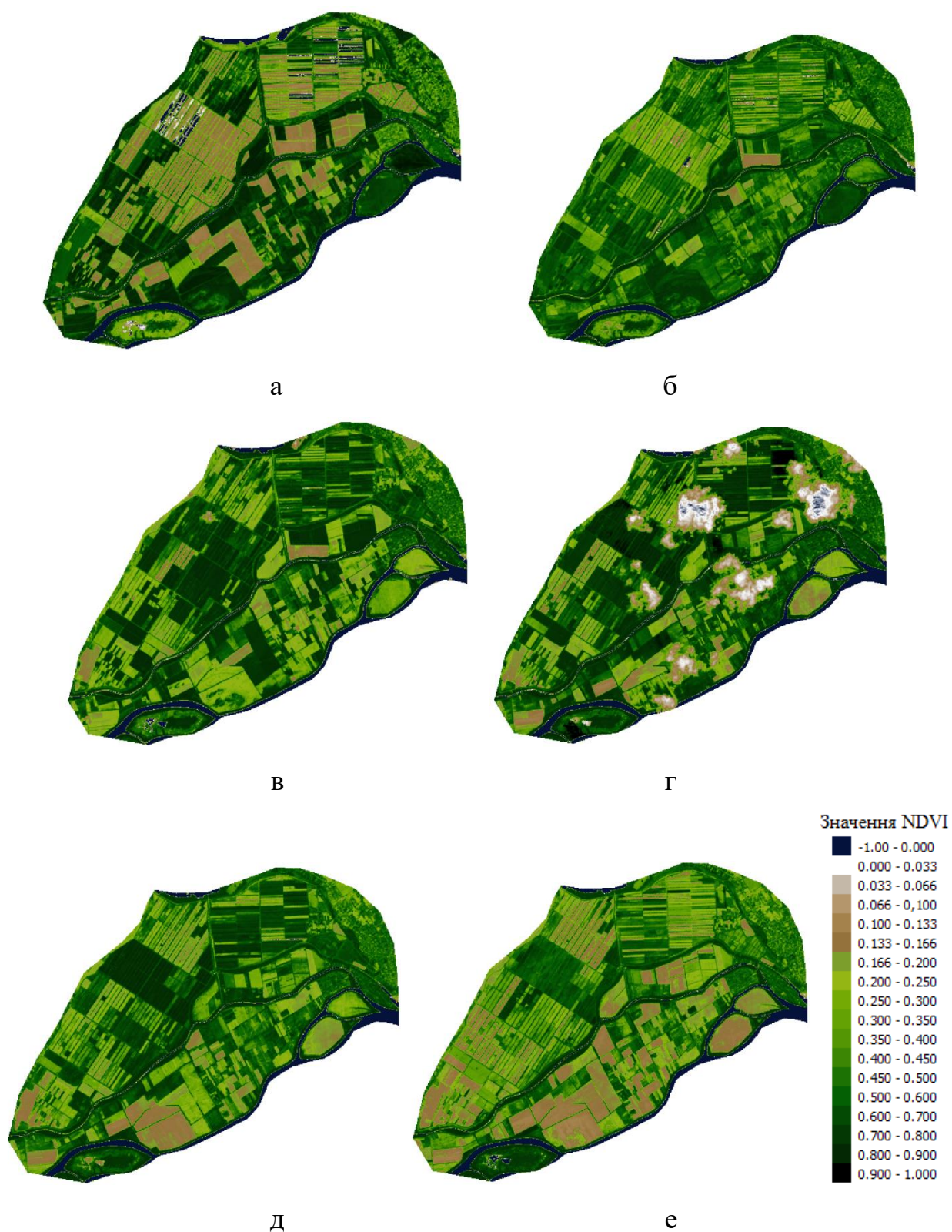


Рисунок А.2 – Карты NDVI рисових плантацій Кілійського району за:

- а) – 30 квітня 2018 року; б) – 1 червня 2018 року;
- в) – 3 липня 2018 року; г) – 6 серпня 2018 року;
- д) – 20 серпня 2018 року; е) – 21 вересня 2018 року.