

**Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України**

Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря

Наукова монографія

Під редакцією д.ф-м.н., проф., чл.-кор. НАНУ Довгого С.О.

**Київ
Інформаційні технології
2010**

УДК 577.4+614:615+504.06;626/628:528.574

ББК 26.22в6

К 78

Рецензенти:

д-р геол.-мін. наук, професор, академік НАНУ Є.Ф. Шнюков,

д-р техн. наук, професор В.М.Ілюшко.

Схвалена до друку Вченою радою Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (протокол № 3 від серпня 2010 р.)

Авторський колектив: *Довгий С.О., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Трофимчук О.М., Андрєєв С.М., Березіна С.І., Бутенко О.С., Вишняков В.Ю., Крета Д.Л., Клочко Т.О., Лісовський Р.Й., Слободян В.О.*

К78 Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря / Довгий С.О., Красовський Г.Я., Радчук В.В. та ін. Під ред. С.О. Довгого. – К.: Інформаційні технології, 2010. – 260 с.– Бібліогр. 91.

Монографія присвячена розробці й практичній реалізації сучасних інформаційних технологій екологічного моніторингу прибережних вод Чорного моря, для інформаційної підтримки завдань управління екологічною безпекою і раціональним використанням природних ресурсів Чорного моря. Основою цих технологій є методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу та обробки даних в середовищі геоінформаційних систем (ГІС).

На основі системного аналізу сучасного стану ДЗЗ/ГІС технологій: визначено склад інформаційних ресурсів екологічного моніторингу прибережних територіальних вод Чорного моря, створено спеціалізований фонд їх космічних знімків; запропоновано новий підхід підвищення ефективності екологічного моніторингу моря; визначені інформативні ознаки характерних типів забруднення; розроблено методику автоматизованого відновлення по цифрових космічних знімках просторово-часового розподілу плямистості моря, обумовленої варіаціями гідродинамічних, гідрооптичних і гідробіологічних параметрів; систематизовані характеристики джерел забруднення моря скидами стічних вод, поверхневим і річковим стоком, а також зворотними водами зрошувальних систем; розроблені ГІС картографічного забезпечення управління охороною прибережних вод і макети їх векторних електронних екологічних карт.

Для науковців, фахівців з питань управління екологічною та санітарно-гігієнічною безпекою, охороною і раціональним використанням природних ресурсів Чорного моря, студентів і аспірантів зі спеціальностей екологічного спрямування.

ISBN–978-966-2249-46-0

© Колектив авторів, 2010

© Інформаційні технології, 2010

ЗМІСТ

ТЕРМІНИ І СКОРОЧЕННЯ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1	
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧОРНОГО МОРЯ	
ЯК ОБ'ЄКТА МОНІТОРИНГУ	9
1.1 Визначення регіону Чорного моря	9
1.2 Опис прибережної смуги Чорного моря	10
1.3 Водозбірний басейн Чорного моря	14
1.4 Водні маси Чорного моря	15
1.5 Циркуляція та перенос водних мас Чорного моря	17
1.6 Джерела антропогенного забруднення українського сектора Чорного моря	18
1.6.1 Головні чинники забруднення	18
1.6.2 Річковий стік	20
1.6.3 Скиди промислових і побутових стічних вод	22
1.6.4 Забруднення моря нафтою і нафтопродуктами	26
1.6.5 Надходження забруднюючих речовин внаслідок господарської діяльності на шельфі	31
1.6.6 Надходження важких металів у складі атмосферного аерозолю	37
РОЗДІЛ 2	
СУТНІСТЬ КОНЦЕПЦІЇ КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ	
ЧОРНОГО МОРЯ	41
2.1 Сучасна організація моніторингу морських вод України	41
2.2 Фізика формування інформаційного сигналу при дистанційному зондуванні морських вод	43
2.3 Концептуальний зміст тематичних задач космічного моніторингу Чорного моря	48
2.4 Інформаційні ресурси космічного моніторингу Чорного моря	55
РОЗДІЛ 3	
СТРУКТУРА ФОНДУ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ ЧОРНОГО МОРЯ	59
3.1 Джерела одержання космічних знімків	59
3.2 Фонд космічних знімків	62
3.2.1 Опис архіву знімків NOAA	64
3.2.2 Опис архіву знімків TERRA	66
3.2.3 Опис архіву знімків SPOT	68
3.2.4 Опис архіву знімків LANDSAT	70
3.2.5 Опис архіву знімків QuickBird	71
РОЗДІЛ 4	
ТЕХНОЛОГІЯ ВЕКТОРІЗАЦІЇ РАСТРОВИХ КАРТ ГЛИБИН	
ЧОРНОГО МОРЯ	75
4.1 Топографічна основа карт екологічного стану Чорного моря	75
4.2 Методологія розробки технології векторизації растрових карт на прикладі північно-західної ділянки Чорного моря	76

РОЗДІЛ 5

ПРОГРАМНО - ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ОБРОБКИ ДАНИХ КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЧОРНОГО МОРЯ 84

5.1 Теоретичне обґрунтування технології обробки даних космічного моніторингу водних акваторій	84
5.2 Програмна реалізація запропонованої технології обробки даних космічного моніторингу водних акваторій у програмно-технологічному комплексі	141
5.2.1 Алгоритм реалізації функціональної моделі зорового сприйняття з урахуванням фізіологічних аспектів зору (блок визначення мінімально помітного критерійного елементу при локалізації змін на знімку)	146
5.2.1.1 Блок низькочастотних шумоподавляючих фільтрів	146
5.2.1.2 Простий пороговий фільтр	148
5.2.1.3 Медіанна фільтрація	151
5.2.1.4 Фільтр Гауса	157
5.2.1.5 Фільтр α -зрізане середнє	160
5.2.1.6 Блок високочастотних контурунаводячих фільтрів	163
5.2.1.7 Фільтр Робертса	164
5.2.1.8 Фільтр Собела	166
5.2.1.9 Фільтр Кірша	169
5.2.1.10 Фільтр Уолліса	172
5.2.1.11 Фільтр Розенфельда	175
5.2.2 Блок контрастування	177
5.2.3 Блок автоматичної сегментації і векторизації	183
5.2.4 Блок вимірювання	196
5.2.5 Блок роботи із зовнішніми векторними даними	196
5.2.6 Блок відображення знімка на карті узбережжя Чорного моря	198

РОЗДІЛ 6

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАБРУДНЕНЬ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ ДЕШИФРУВАЛЬНИХ ОЗНАК 200

6.1 Математична модель форми об'єкта	200
6.1.1 Розробка алгоритму векторизації контурів виділених ділянок	201
6.1.2 Векторизація контуру	201
6.2 Алгоритм створення математичної моделі контуру виділеної ділянки	205
6.2.1 Представлення контуру у вигляді розгортки	205
6.2.2 Апроксимація виділеного контуру	208
6.3 Вибір ознаки розпізнавання	208
6.3.1 Взаємна кореляційна функція контурів об'єктів	209
6.3.2 Автокореляційна функція контурів забруднень	211
6.3.3 Визначення ознакового простору	213
6.4 Інформаційно-статистичний аналіз структурних ознак забруднень морських акваторій	216

6.4.1	Методика виділення структурних ознак забруднень морських акваторій	217
6.4.2	Побудова статистичної моделі структурних ознак забруднень морських акваторій	221
6.4.3	Аналіз інформативності структурних ознак	222
6.5	Вибір методу класифікації забруднень морських акваторій	224
6.6	Імовірнісний аналіз ознак класифікації	226
6.7	Методика експериментальних досліджень алгоритму класифікації	232
6.8	Методика використання результатів розпізнавання в ГІС	234
РОЗДІЛ 7		
МАКЕТ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ КАРТОГРАФІЧНОЇ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ З ПИТАНЬ ОХОРОНИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ЧОРНОГО МОРЯ		236
7.1	Інструкція з експлуатації геоінформаційної системи картографічного забезпечення завдань охорони територіальних вод України на Чорному морі	236
7.2	Тематичний склад карти техногенних чинників забруднення морських акваторій та прибережних територій української ділянки Чорного моря	237
7.2.1	Топооснова	237
7.2.2	Ділянки моря з високим рівнем техногенного навантаження	237
7.2.3	Чинники й зони ймовірних порушень стану морських вод	242
7.2.4	Природно-ресурсні і рекреаційні об'єкти	242
ЗАКЛЮЧЕННЯ		251
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		253

ТЕРМІНИ І СКОРОЧЕННЯ

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі – технологія за допомогою якої одержують інформацію про різноманітні об'єкти без безпосереднього контакту з ними. ДЗЗ базується на широкому арсеналі технічних засобів. До них відносяться штучні супутники Землі, орбітальні станції, літаки-лабораторії, наземні засоби прийому й обробки інформації, мережа наземних і морських полігонів, обладнаних рухливими та стаціонарними засобами для дистанційних і контактних наземних вимірів параметрів поточних станів складових підстиляючої поверхні або атмосфери.

ШСЗ – штучний супутник Землі.

ГІС – геоінформаційні системи – комп'ютерна технологія відображення і аналізу географічної інформації. Важлива особливість сучасних ГІС полягає не стільки в можливості створення величезних за обсягом інформації карт різного тематичного змісту, скільки у легкості та простоті вирішення конкретних проблем шляхом пошуку і аналізу тенденцій і закономірностей факторів, які їх визначають.

Arc/View – програмний продукт для настільних ГІС. Дає можливість наочно відображати, досліджувати, запитувати і аналізувати дані за допомогою тематичних карт. Розроблений компанією ESRI (Інститут досліджень навколишнього середовища) – США, яка постійно його модернізує.

БСП-М – багатозональний скануючий пристрій (малого розрізнення).

ГПІ – геопросторова інформація.

ГДК – гранично допустима концентрація.

ДП – діелектрична проникність.

ЕПР – ефективна площа розсіювання.

ЗР – забруднюючі речовини.

ЗЯ – зональна яскравість.

ІЧ – інфрачервоний діапазон електромагнітних хвиль, в атмосферних вікнах прозорості, довжиною 3–4, 8–14, 30–80 мкм. У сучасних технологіях ДЗЗ використовують тільки перші два з них.

КДВ – коефіцієнт дифузного відбиття.

КДЗВ – коефіцієнт дзеркального відбиття.

ЧБ – панхроматичний або чорнобілий знімок.

СПЗ – спектрозональний знімок.

БЗЗ – багатозональний знімок.

КЗ – кольоровий знімок.

КСЯ – коефіцієнт спектральної яскравості.

КЯ – коефіцієнт яскравості.

НВЧ – надвисока частота, діапазон спектра електромагнітних хвиль довжиною 2–1000 см. Практично найчастіше використовують короткохвильову складову, до 200 см.

$T_{\text{я}}$ – радіояскравісна температура.

ПГХ – первинні гідрооптичні характеристики.

СДОР – сильнодіючі отруйні речовини.

СПАР – синтетичні поверхнево-активні речовини.

ВВ – вуглеводневі речовини.

НП – нафтопродукти.

ВСТУП

Чорне море відіграє винятково важливу роль у становленні України як високорозвиненої європейської держави. Внутрішні і зовнішні транспортні зв'язки, колосальний рекреаційний потенціал узбережжя моря, обумовлений сприятливими і різноманітними кліматичними умовами, запаси морепродуктів, які мають промислове значення, сировини для хімічної промисловості, будматеріалів, корисних копалин і багато чого іншого. Важко переоцінити роль Чорного моря у внутрішньому і зовнішньому транспортному зв'язках України в її новому геополітичному положенні. Великі проекти в цій області – нафтопровід Одеса – Броди, канал по Дунаю припускає істотний ріст вантажоперевезень через українські порти. Найбільші з них – Одеса, Іллічівськ, Південний, Миколаїв, Херсон, Севастополь, Ялта, Феодосія, Керч. Все це визначає басейн Чорного моря як район стратегічних інтересів України.

У той же час водні ресурси моря піддаються істотному антропогенному навантаженню, що вносить помітний внесок у динаміку формування екологічного стану не тільки морських акваторій, але й приморських регіонів. Погіршення екосистем Чорного моря і виснаження його морських ресурсів протягом останніх десятиліть сприяє погіршенню якості навколишнього середовища у прибережних районах і, як наслідок, зниженню рівня їх рекреаційного потенціалу. У червні 1992 р. в Ріо-де-Жанейро відбулась Конференція Організації Об'єднаних Націй по Навколишньому Середовищу і Розвитку і, зокрема, стосовно стійкого розвитку океанів, морів і прибережного середовища в Програмі XXI. Визнаючи необхідність спільних зусиль для збереження Чорного моря, країни Чорноморського басейну підписали Конвенцію про захист Чорного моря від забруднення (1992, Бухарест, Румунія).

Відповідно до Статті VII Конвенції країни-учасники повинні вживати всі необхідні заходи по запобіганню, скороченню та контролю за забрудненням морського середовища Чорного моря, яке спричинено виносом від наземних джерел, таких, як річки, канали, берегові споруди, інші штучно створені структури, випадінням опадів або виносом, що надійшли від будь-якого іншого наземного джерела, включаючи атмосферу.

В розвиток положень Конвенції 22 березня 2001 р. Верховною Радою України була прийнята державна „Програма охорони та відтворення довкілля Чорного моря”, яка є першою національною програмою, що має статус закону в країнах Чорноморського басейну. Для ефективної реалізації положень цієї програми, а також зобов'язань України по Конвенції, необхідно мати сучасну систему моніторингу внутрішніх морських вод, територіального моря та виключної (морської) економічної зони України на Чорному морі, а також чинників антропогенного впливу на них. Елементи такої системи функціонують в рамках „Порядку державного моніторингу вод”, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 20 липня 1996 р. N 815. Згідно цього Порядку, первинною інформацією про екологічний стан морських вод, яку одержують суб'єкти державного моніторингу, є дані спостережень, оснований

на періодичному відборі проб води на визначених ділянках моря з наступним лабораторним аналізом складу і кількості розчинених і зважених в них речовин. Зараз ця інформація отримується, накопичується і зберігається суб'єктами державного моніторингу вод різного відомчого підпорядкування. Це утруднює можливості її ефективного практичного використання для об'єктивного наукового та економічного обґрунтування рішень з питань планування заходів по охороні морських акваторій від техногенного забруднення, екологічних експертиз різного рівня, оцінок впливу на екологічний стан морських екосистем діючих промислових і сільськогосподарських підприємств.

Ефективність сучасної організації фонового, загального і кризового моніторингу морських вод можна істотно підвищити, якщо доповнити її технологіями космічного моніторингу морських акваторій, а отримані при цьому геопросторові дані обробляти із залученням програмних інструментів сучасних геоінформаційних систем. При цьому відкриваються можливості не тільки оперативно отримувати дані про просторово-часові розподіли параметрів екологічного стану морських акваторій під впливом антропогенних і природних чинників, а й зручні форми їх надання користувачам у вигляді візуалізованих тематичних картографічних моделей. Ці моделі забезпечують зручний доступ до атрибутивних даних кожного з чинників забруднення, які можуть існувати в текстовій або табличній формах.

Значний внесок у розвиток методів обробки і тематичної інтерпретації космічних знімків, актуальних екологічних проблем Чорного моря внесли дослідження українських і закордонних вчених таких, як Попов М.О., Лялько В.І., Бондур В.Г., Михайлов В.І., Шнюков Е.Ф., Іноземцев Ю.І., Іванов В.О., Єремєєв В.М., Коротаєв Г.К., Панов Б.Н. [1–6].

Актуальною проблемою космічного моніторингу морських акваторій є створення ефективної комп'ютеризованої системи обробки й аналізу матеріалів ДЗЗ. Для вирішення цієї задачі використовуються як класичні методи, реалізовані у ГІС-програмах, так і нові методи, які формуються в процесі обробки космічних знімків.

Ця монографія присвячена практичним аспектам розробки технологій космічного моніторингу морських акваторій і геоінформаційних систем для умов Чорного моря.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧОРНОГО МОРЯ ЯК ОБ'ЄКТА МОНІТОРИНГУ

1.1 Визначення регіону Чорного моря

Чорне море – внутрішнє море басейну Атлантичного океану, омиває берега України, Росії, Грузії, Болгарії, Туреччини. Керченською протокою з'єднано з Азовським, протокою Босфор – з Мармуровим і протокою Дарданелли – зі Середземним морем.

Чорне море розташоване між $40^{\circ}56'46''33'$ пн.ш. і $27^{\circ}27'41''42'$ с.д. Найбільша довжина моря по $42^{\circ}29'$ пн.ш. складає 1148 км. Найменша ширина його по меридіану південного краю Кримської ділянки півострова (від мису Мишоїд) становить 258 км. Площа моря складає 422 тис. кв. км, загальний об'єм води - 547 тис. кв. км, довжина української ділянки берегової лінії 1829,1 км (між дельтовою протокою Мусуна – державний кордон з Румунією, та мисом Такил на південному сході Керченського півострова. Пересічна глибина 1271 м, максимальна 2245 м.

В межах України у Чорне море впадають великі річки Дунай, Дніпро, Дністер, Південний Буг і багато дрібних річок. У прибережній смузі знаходяться 14 морських лиманів та естуаріїв загальною площею 1952 кв. км із солоністю води від 0,3 до 296,0 ‰; 8 заток загальною площею 1770 кв. км і солоністю 3,018.5 ‰ [7].

У будові дна Чорного моря виділяються: шельф, материковий схил та глибоководна улоговина. Шельф чи материкова обмілина являє собою безпосереднє продовження суші, що опинилася під водами моря. Він займає значну площу в північно-західній частині моря. Ширина шельфу тут сягає понад 200 км, глибина сягає 100 м, місцями до 160 м. В інших частинах моря глибина шельфу складає менше 100 м, ширина його 2,2 - 15 км. Біля Кавказького і Анатолійського берегів шельф представлений вузькою переривчастою смугою. Північно-західна шельфова зона має слабкий нахил і плоскісно - рівнинний абразивно-аккумулятивний рельєф [7].

Плавний, рівнинний рельєф шельфу значно ускладнюється підводними долинами і каньйонами. У більшості випадків вони звивисті, з добре вираженими схилами, особливо на периферії шельфу, частіше в місцях переходу до материкового схилу. В основному це підводне продовження річкових долин прилеглої суші. На північно-західному шельфі простежуються долини річок Дунаю, Дністра, Дніпра і Південного Бугу.

Шельф переходить у материковий схил досить значної крутості. Середні його ухили складають 58° у північно-західній частині, а в Керченській протоці – 13° . Крутість окремих ділянок досягає 20 - 30° .

Материковий схил також сильно розчленований підводними долинами і каньйонами.

Центральну частину Чорноморської западини займає глибоководна улоговина з глибинами 2000 – 2200 м. Її максимальна глибина – 2258 м.

Дно улоговини – плоска акумулятивна рівнина. Утворення западини Чорного моря пов'язують як із процесами “океанізації” материкової земної кори, так і з реліктовою природою западини як залишкового басейну древнього океану.

1.2 Опис прибережної смуги Чорного моря

Прибережна смуга Чорного моря - унікальна природно – господарська система, яка має велику цінність для України. До складу прибережної смуги входять адміністративно – територіальні одиниці базових рівнів - міста і адміністративні райони, що безпосередньо прилягають до моря, а також до лиманів і гирлових частин великих річок - Дунаю та Дніпра. Визначена за таким принципом приморська смуга України утворює суцільну приморську територію глибиною в один “адміністративний прошарок”.

Загальна площа української прибережної смуги Чорного моря становить приблизно 32 тис. кв. км. Кордони прибережної смуги визначаються кордонами адміністративних районів (табл. 1.1), а в морі - територіальними і внутрішніми водами країни (табл.1.2).

Таблиця 1.1 - Адміністративні одиниці, що мають бути включені до прибережної смуги Чорного моря (Україна) [8]

Автономна республіка, область, місто центрального підпорядкування	Адміністративні райони, міста обласного підпорядкування	Міста районного підпорядкування, селищні, сільські ради
Одеська область	11	53
Миколаївська область	5	31
Херсонська область	8	47
Автономна Республіка Крим	15	70
м. Севастополь	-	4
Разом	39	205

Таблиця 1.2 - Площа внутрішніх та територіальних вод Чорного моря (Україна), кв. км [8]

Адміністративна одиниця	Чорне море		
	Внутрішні води	Територіальні води	Разом
Одеська область	660	5598	6258
Миколаївська область	585	572	1157
Херсонська область	2200	3000	5200
Автономна Республіка Крим	1980	8325	10305
м. Севастополь	216	2154	2370
Разом	5641	19649	25290

Із загальної довжини берегів української ділянки Чорного моря 553 км (34 %) є стабільними і динамічно стабільними. Активними кліфами різних

типів зайнято 486 км довжини берега (29,9 %), при цьому основну кількість абразивних ділянок складають глинисті та піщані осажені породи неогенантропогену. Акумулятивні форми берегового рельєфу розповсюджені вздовж 589 км берега (39,1 %).

Переважають форми морської берегової лінії, що відступають. Форми, що наросшуються, мають довжину близько 48 км (3 %) [8].

Чорноморський басейн за типом взаємодії з сушею його північного берега може бути віднесений до посттрансгресійного. В його береговій зоні переважають деструктивні процеси, головним з яких є абразія. Під її дією щорічно втрачається близько 100 гектарів прибережних земель. Абсолютно переважає механічна абразія як результат дій механічної енергії морських хвиль і хвильових течій в береговій зоні. Елементи біогенної абразії найбільш помітно виявляються в районах Бакальської коси, Тарханкутського та Керченського півостровів. Максимальні швидкості абразії розвиваються на глинястих берегах, що найбільш помітно реагують на хвильовий вплив. Середні річні швидкості абразії за багаторічний період становлять 34 м, а максимальні – 1820 м (райони мису Бурнас, коси Тендра та Бакал). Приблизно з такими швидкостями відступають берегові лінії піщаних берегів, наприклад на терасі Шагани, біля мису Євпаторійського, на пересипу озера Устрічне.

Важливою особливістю Чорноморського узбережжя є лиманно-гирлові комплекси. В межах причорноморської смуги налічується близько 20 водно-болотних угідь, загальна площа яких становить 635 000 га. Їх виключна цінність полягає в тому, що вони є базою для відтворення запасів деяких видів риб.

Природні курортно–рекреаційні ресурси Чорноморського узбережжя визначаються наявністю комплексу лікувально–оздоровчих чинників: тривалістю теплого періоду року, сприятливих погодних умов для масових видів рекреаційної діяльності, лікувальних властивостей клімату, піщаних пляжів, лікувальних грязей, рапи приморських лиманів та мінеральних джерел.

За схемою фізико-географічного районування України приморська смуга розташована в основному в степовій природній зоні і лише південь Кримського півострова займає гірська країна – Кримські гори.

Степова природна зона приморської смуги включає [8]:

1. Середньостепову ландшафтну підзону з Причорноморською середньостеповою провінцією, що охоплює такі ландшафтні області :
 - Задністровсько-Причорноморський низинний степ;
 - Дністровсько-Бузький низинний степ.
2. Сухостепову ландшафтну підзону, до якої входять:
 - 2.1 Причорноморсько-Приазовська сухостепова провінція, що охоплює:
 - Приморський низинний степ;
 - Нижньодніпровський терасовогирловий степ;
 - Присивасько-Приазовський низинний степ.

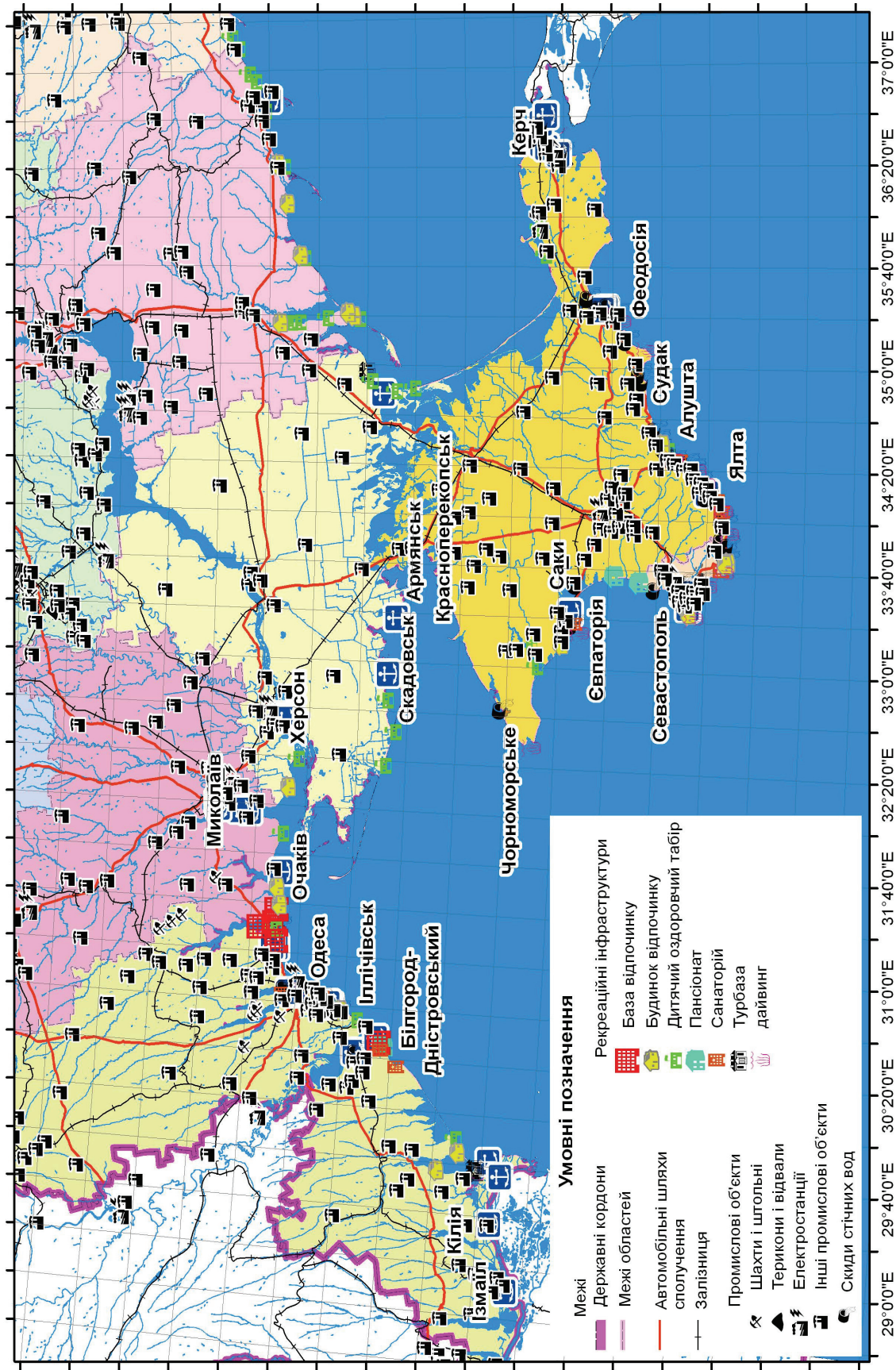


Рис.1.1 - Головні об'єкти техногенного навантаження українського сектору Чорноморського басейну

2.2 Кримська степова провінція з ландшафтними областями:

- Кримсько-Приазовський низинний степ;
- Тарханкутський височинний степ;
- Центральнокримський рівнинний степ;
- Керченський горбистий степ.

3. Фізикогеографічна країна Гірський Крим охоплює:

- Передгірний лісостеп;
- Головну гірськолужнолісову грядку;
- Кримське південно-берегове субсередземномор'я.

Гострими залишаються екологічні проблеми прибережних смуг Чорного моря. Незадовільна екологічна ситуація помітно стримує подальший розвиток масового відпочинку, туризму, підриває біоресурсний потенціал моря та приморських водних об'єктів, погіршує загальну якість середовища життєдіяльності населення.

Територія Чорноморського басейну взагалі та прибережні смуги української ділянки Чорного моря зокрема характеризуються високим рівнем концентрації населення і техногенного навантаження - рис. 1.1.

У прибережних містах розташовані промислові підприємства, для стічних вод яких характерна наявність широкого спектра забруднюючих речовин - нафтопродуктів, завислих речовин техногенного походження, хімічних сполук і, зокрема, важких металів - табл.1.3. Ці підприємства безпосередньо впливають на процеси формування екологічного стану природного середовища прибережних смуг моря, морські узбережжя і шельф, які значно більш вразливі до проявів техногенного навантаження, ніж віддалені від берегової лінії ділянки суходолу та морські акваторії.

Таблиця.1.3 - Галузі промисловості міст, розташованих в зоні прямого впливу на забруднення Чорного моря важкими металами

Галузь промисловості	Назва міста	Елементи-забруднювачі
Металургія	Одеса, Миколаїв, Херсон	V, Cd, Co, Cu, As, Ni, Pb,
Хімічна та нафтохімічна	Одеса, Херсон, Саки, Красноперекопськ, Армянськ	Ti, Cr, Zn
Машинобудівна	Кілія, Ізмаїл, Одеса, Іллічівськ, Миколаїв, Херсон, Скадовськ, Євпаторія, Севастополь	V, Cd, Co, Cu, As, Ni, Hg, Pb, Ti, Cr
Будівельні матеріали	Білгород-Дністровський, Іллічівськ, Одеса, Миколаїв, Херсон, Саки, Севастополь, Євпаторія	Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Ti, Cr, Zn
Деревообробна	Білгород-Дністровський, Одеса, Миколаїв, Херсон, Саки, Севастополь, Євпаторія	Cd, Hd, Cr, Pb, Zn
Легка промисловість	Білгород-Дністровський, Одеса, Миколаїв, Херсон, Севастополь, Євпаторія	V, Cd, Co, Cu, As
		Ni, Hg, Pb, Ti, Cr

1.3 Водозбірний басейн Чорного моря

Визначальним фактором формування головних екологічних проблем Чорного моря є вплив річкового стоку, 80 % якого надходить до мілководної і тому найбільш екологічно уразливої, північно-західної частини Чорного моря (ПЗЧМ). Стік чотирьох головних річок чорноморського басейну - Дунай, Дніпро, Дністер і Південний Буг - в середньому складає 270 км³. Їхня загальна водозбірна площа становить 1,46 млн.кв.км і охоплює територію 20 держав з населенням 162 млн.чол. (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 - Характеристика головних річок водозбірного басейну Чорного моря [8]

Назва річки	Площа водозабору, тис. кв. км	Довжина, км	Середньо багаторічний стік, км ³ /рік	Площа дельти, кв. км
Дунай	817	2857	204	5912
Дніпро	504	2201	53	500
Дністер	72,1	1362	10,2	240
Південний Буг	63,7	806	2,8	
Сума	1456,8		270	

Величина питомого водозбору (співвідношення поверхні водозбірного басейну до поверхні морської акваторії, що приймає річковий стік) для ПЗЧМ на північ від 45° пн. ш. складає біля 29%, що обумовлює високий ступінь залежності моря від суші, навіть з урахуванням того, що води Дунаю розповсюджуються, в основному, на південь від 45°пн.ш.

Дунай - друга за величиною річка Європи і найбільша річка басейну Чорного моря. Стік Дунаю (а отже і його якість) формується на території 16 європейських держав. Площа його водозбірного басейну складає 817000 кв.км., а довжина – 2960 км. Коливання річного стоку Дунаю досягають майже 50% від середньо багаторічної величини. За останні роки його об'єми змінювалися від 132,3 (1990р.) до 236 км³ (1996р.). Упродовж року водність Дунаю змінюється порівняно мало. Водозабір з його басейну на території України є незначним (табл. 1.5).

Дніпро є головною річкою України. Його довжина 2201км, а загальна площа басейну сягає 504000 кв.км. Із середньорічного об'єму стоку Дніпра 32% формується на території Росії, близько 31% на території Білорусі. Стік річки, що формується в межах України, в середній за водністю рік становить 19,7 км³, а в розрахунковий маловодний рік може зменшуватися до 12 км³.

Протягом останніх 60 - 80 років на Дніпрі здійснювалися масштабні гідротехнічні роботи з метою регулювання річкового стоку, накопичення запасів води для посушливого періоду і подавання її в маловодні райони. Найбільш значними гідротехнічними спорудами, які змінили гідрологічний режим Дніпра, є каскад із 6 водосховищ загальною площею 6950 км³ та повним об'ємом акумульованої води 43,8 км³ і канали Дніпро - Донбас, Північно Кримський та Каховський, якими щорічно перекидається 56 км³

стоку за межі басейну. За останні 20 років об'єм водозабору в басейні Дніпра змінювався від 23,1 км³ у 1984р. до 11,5 км³ у 1999р. Безповоротний водозабір із Дніпра змінювався від 10-11км³ у 1989-1991рр. до 5,48 км³ у 1999 р. (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 - Водозабір по басейнах річок у межах України [8]

Річковий басейн	Водозабір, км ³	Безповоротне водоспоживання, км ³
Дніпро	11,544	5,48
Дністер	0,908	0,596
Південний Буг	0,976	0,178
Дунай	1,59	0,58
Усього	15,02	6,84

Такі обсяги антропогенного вилучення прісного стоку із водного балансу Чорного моря впливають на багаторічну галинну й густинну структуру моря.

Дністер є найбільшою річкою Західної України і Молдови. Його довжина складає 1362 км, а площа басейну – 72100 кв. км. Із створенням Дністровського водосховища (1981р.) стік Дністра став зарегульованим і в значній мірі визначається роботою Дністровського гідровузла. Зарегульованість річки становить 3,5 км³ і складає 35% природного стоку Дністра 50% за безпечності або біля 70% стоку річки в маловодні роки.

До перекриття річки греблею Дністровського гідровузла паводковий режим спостерігався на усьому її протязі упродовж усього року, а екстремальним витратам води Дністра у середній і нижній течіях була притаманна велика амплітуда коливань. Тому значна частина Дністра і його приток одамбовані, перш за все, в межах міст.

Південний Буг – довжиною 806 км, найбільша річка, басейн якої площею 63700 кв. км повністю розташований у межах України. Характерною особливістю басейну Південного Бугу, що виділяє його з поміж інших великих річок, є дуже велика зарегульованість. В басейні річки створено 197 водосховищ і 6,9 тис. ставків із сумарним об'ємом до 1,5 км³. За багаторічними спостереженнями, річний стік має тенденцію до зростання. Його максимальна величина була зареєстрована у 1980 р. (5,9 км³), мінімальна - у 1921р. (0,9км³).

1.4 Водні маси Чорного моря

Чорне море має специфічну гідрологічну структуру вод, обумовлену обмеженим водообміном з іншими частинами Світового океану і надходженням полярних за своїми характеристиками водних мас. На їх формування найбільший вплив має надходження солоних вод з Мармурового моря - протягом року надходить 170 км³, витікає 360 км³. Поверхневі води моря, крім пригирлових ділянок великих річок, мають солоність 14 – 18,3 ‰. Глибинні – 22,3 – 22,6‰ за рахунок солоних (до 35‰) вод з Мармурового моря. Пересічна солоність моря – 21,8‰ [8]. Річковий стік, що поставляє

основний обсяг прісних вод, зосереджений, головним чином, у північно-західній частині Чорного моря. Води Азовського моря із солоністю 10-14 ‰ надходять через Керченську протоку в північно-східну частину моря. Води із солоністю 30 - 35‰ надходять у південно-західну частину моря у вигляді потоку Нижньо-босфорської течії. Середній багаторічний прибутковий компонент водних ресурсів моря складає близько 710 км³ /рік. З нього на частку річкового стоку припадає близько 50%, опадів - близько 20%, надходження вод з Азовського моря - 7%, з Мармурового моря - 24%. Видатковий компонент при нульовому балансі приходу витрат складається з випару (46%), стоку опріснених поверхневих вод у Мармурове море і далі в Егейське (51%) і стоку в Азовське море (3,3%). Найбільш яскравими відмінними рисами вертикальної структури є: наявність тонкого - опрісненого поверхневого шару зі значними внутрішньорічними варіаціями температури в шарі 0 – 50 м і істотно більш товстого (1500 - 2000м) осолоненого шару вод з інверсійним розподілом температури; існування у верхній частині постійного галоклину чи, частково, над ним у теплу половину року холодного проміжного шару з абсолютним по вертикалі мінімумом температури; визначальний внесок солоності в щільнісну стратифікацію вод. У цілому у відкритій частині Чорного моря, за незначно відмінними критеріями, виділяють 6 типів водних мас: мілководну чорноморську (МЧМ), верхню (ВЧМ), холодну проміжного шару (ХПШ), проміжну (ПЧМ), глибинну (ГЧМ) і придонну (ДЧМ).

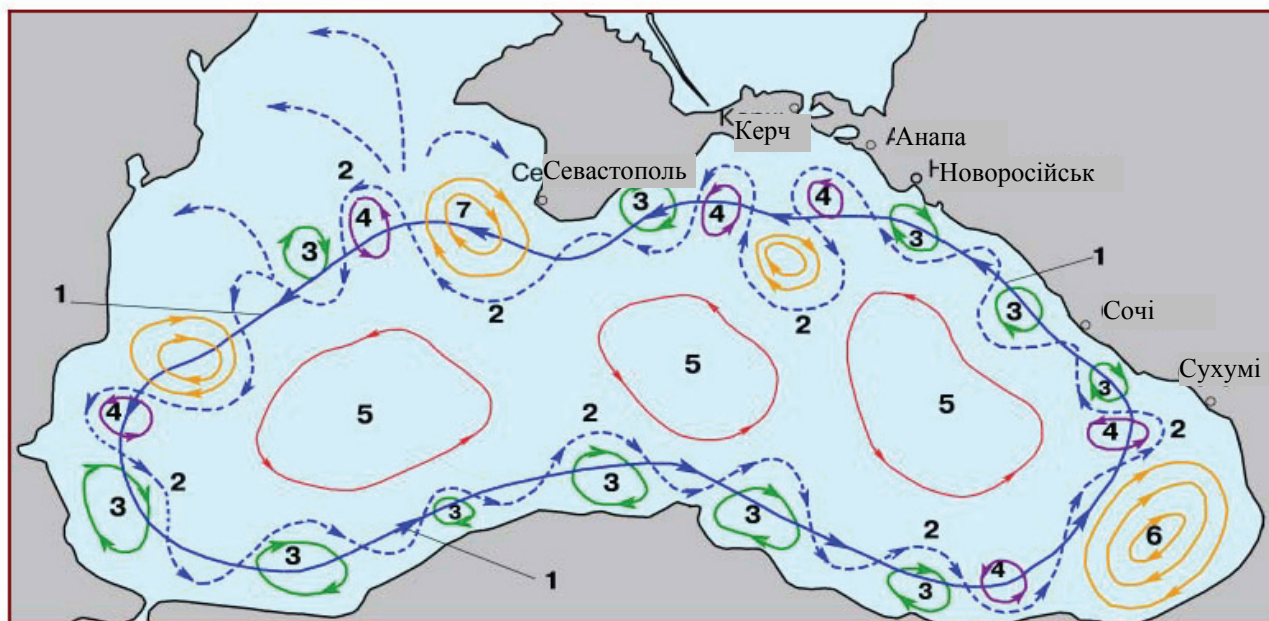
Води ХПШ мають два основні зимові джерела формування – північно-західний шельф і центри циклонічних кругообігів відкритої частини моря. На півночі північно-західного шельфу формуються найхолодніші, але відносно опріснені води. Поширюючись на південь, вони частково втрачають запас холоду і осолонюються. Поступово звальюючись в область зони конвергенції на звалі глибин, вони формують верхнє ядро ХПШ. Подальшого поширення підповерхневих шельфових вод у відкриті райони моря в зимово-весняний період року не виявляється, а в літньо-осінній період воно можливе лише при руйнуванні загально-циклонічної циркуляційної системи. Нижнє і більш щільне ядро вод ХПШ у зоні конвергенції формують води, що стікають з куполів зони центральної дивергенції.

Особливий інтерес являє собою глибинна водна маса. Межа між глибинними і придонними водами легко визначається за вертикальним розподілом термохалинних характеристик: у придонних водах спостерігається повна однорідність цих характеристик. Глибина залягання верхньої межі придонної води складає приблизно 1750 метрів. Потік тепла з дна створює нададіабатичне підвищення температури, що зумовлює розвиток конвекції у визначеному шарі придонних вод. Водні маси північно-західного шельфу інтерпретувати досить складно, насамперед через великий обсяг річкових вод, що надходять з декількох джерел різної потужності. Мілководність шельфу призводить до істотної підлеглості поверхневих течій мінливим вітровим потокам і, як наслідок, до складного режиму дрейфового перерозподілу водних мас.

Усього в межах МЧМ були виділені три підтипи вод [8]: пригирлова водна маса (ПВМ); шельфова водна маса (ШВМ); шельфова водна маса Каркінітської затоки (ШВМКЗ). У центральних і південно-східних районах ПЗЧМ присутній відносно невеликий обсяг поверхневої водної маси відкритого моря - злегка трансформований шельфовий варіант ВЧМ.

1.5 Циркуляція та перенос водних мас Чорного моря

Характерною рисою циркуляційного режиму Чорного моря є наявність загальнобасейнової циклонічної системи течій - рис.1.2.



- 1 кільцева циклонічна течія – середнє положення стрижня, яка визначає границю прибережної зони;
- 2 меандри Кільцевої циклонічної течії;
- 3 прибережні антициклонічні вихрі (ПАВ);
- 4 циклонічні вихрі;
- 5 центри квазістаціонарних циклонічних круговоротів;
- 6 Батумський антициклонічний вихор;
- 7 Севастопольський антициклонічний вихор.

Рис.1.2 - Загальна схема циркуляції водних мас Чорного моря

У роки з посиленими термодинамічними умовами в атмосфері над регіоном моря може відбуватися розподіл загальної динамічної системи на суббасейнові - західний і східний - циклонічні кругообіги. Динамічна система Чорного моря має виражений річний хід. Найбільш інтенсивна циркуляція має місце в зимово-весняний період, коли в морі, в результаті посиленої зимової термодинамічної взаємодії в системі море - атмосфера, відбувається накопичення доступної потенційної і кінетичної енергії.

Існує два основні механізми зимового накачування енергією морської динамічної системи. Перший - це тангенціальна напруга вітру і формування дрейфового переносу в поверхневих, а потім і в більш глибинних шарах вод.

Однак, як показали дослідження вітрового режиму, над морем у жодний із сезонів не існує статистично забезпеченого ротора циклонічної завихреності вітрових потоків. Тому вітер, створюючи (в залежності від синоптичних ситуацій) дрейфові потоки різних напрямків, не може бути основним механізмом генерації упорядкованої циклонічної циркуляції Чорного моря. Другим механізмом зимового посилення циркуляції є селективна зміна щільнісної структури вод відкритого моря. Взимку над регіоном переважають холодні вітри північних румбів, із значними посиленнями до заходу і сходу від Кримського півострова. В результаті термовітрового впливу, насамперед, охолоджуються й ущільнюються північні регіони моря, центри великомасштабних динамічних структур зрушуються в напрямку дії найбільш сильних і холодних вітрових потоків. При залученні в процеси вертикальної зимової конвекції вод верхньої частини основного галоклину процеси виборчого ущільнення переходять у нову, більш інтенсивну фазу. Від структури до руху - так можна коротко охарактеризувати спрямованість роботи даного термохалинного механізму розвитку загальнобасейнової циркуляції Чорного моря. В зимове півріччя активними рухами охоплено все море. Найбільш інтенсивні переноси відзначаються в районах звалу глибин. Швидкості течій поступово зменшуються в радіальному напрямку до динамічних центрів. Зимові поверхневі течії у північно-західній частині Чорного моря істотно залежать від вітру і води поширюються, в основному, у південних напрямках.

Циркуляційні процеси в морі обумовлюють варіації температури поверхневого шару водних мас, просторового розподілу фітопланктону, зважених речовин, поверхнево активних плівок.

1.6 Джерела антропогенного забруднення українського сектору Чорного моря

1.6.1 Головні чинники забруднення

Антропогенне забруднення вод українського сектору Чорного моря обумовлює такі основні явища як:

- накопичення хімічних токсичних речовин у біоті;
- мікробіологічне забруднення;
- зниження біологічної продуктивності;
- прогресуюча ефтрофікація і виникнення мутагенезу та канцерогенезу;
- порушення стійкості екосистем.

Головними чинниками забруднення українського сектору прибережної зони Чорного моря являються:

1. річковий стік;
2. скиди промислових, побутових та каналізаційних стічних вод;
3. аварійні скиди нафтопродуктів при її транспортуванні танкерним флотом або підводними трубопроводами, морські платформи пошуку і розробки родовищ вуглеводнів, підводні викиди нафти та газу;

4. безпосереднє надходження забруднюючих речовин внаслідок господарської діяльності на шельфі;
5. атмосферні опади.

Чинники 1, 2 впливають на рівень забруднення територіального моря постійно, а 3-5 - епізодично, в залежності від характеру не прогнозованого збігу обставин природного і техногенного походжень.

Проведені в останні роки комплексні дослідження стану водних екосистем Чорного моря свідчать про суттєвий вплив на них антропогенних чинників. Як наслідок, морська вода й донні відкладення містять у різних концентраціях забруднюючі речовини, які найчастіше перевищують гранично допустимі й зустрічаються, найчастіше, в районах великих міст і, особливо, в устьях великих річок.

Більше 60 відсотків забруднюючих речовин Чорного моря надходить із річковим стоком із усього басейну – території близько 20 країн індустріальної Європи. До цього додається військова активність, морський і річковий транспорт, збільшення перевезень сирої нафти й нафтопродуктів, пошук та видобуток нафти й газу на шельфі. Вносить свій внесок у загальне забруднення морського середовища й вторинне забруднення, обумовлене накопиченням забруднюючих речовин у донних відкладах і придонних організмах. Дія перерахованих факторів за останні 30-40 років призвели до суттєвих змін стану основних екосистем Чорного моря. Основними джерелами антропогенного забруднення північно-західної частини Чорного моря в межах України є стік рік - Дніпра, Дунаю, Дністра й Південного Бугу, які вносять у море більше 296 км³ забруднених річкових вод. У північно-західну частину Чорного моря з річковим стоком надходить більше 80 % забруднюючих морське середовище речовин (мінеральні добрива, органічні речовини, нафтопродукти, промислові відходи). Значний внесок у формування забруднення моря приходить на скиди промислових підприємств, муніципальні стічні води, зливові й дощові стоки з берегової прибережної водозбірної зони й забруднення морських вод у результаті судноплавства.

На якість прибережних вод Чорного моря впливають берегові джерела антропогенного забруднення й у першу чергу великі населені пункти на узбережжі. Так у прибережній частині України розташовані 21 приморське місто й близько 35 селищ міського типу. Внаслідок діяльності об'єктів комунального господарства цих населених пунктів у море надходить значна частина забруднюючих речовин.

На екологічний стан водних ресурсів Чорного моря немаловажливий вплив мають судноплавство й об'єкти морського транспорту України, розташовані в прибережній зоні Дунайського, Дніпро-Бугського й Чорноморсько-Азовського басейнів. Так, на цій території перебуває близько 20 морських портів і 7 судноремонтних заводів, які здійснюють вплив на морське середовище результатами своєї виробничої діяльності, що включає вантажно-перевантажувальні роботи, операції з нафтопродуктами, ремонт суден і ін.

Треба відзначити, що в акваторіях українських портів за останні роки відзначається тенденція по стабілізації вмісту нафтопродуктів на рівні ГДК.

У результаті діяльності портів, у донних відкладеннях портових акваторій відбувається регулярне нагромадження продуктів антропогенного походження. В зв'язку зі зниженим кисневим режимом придонних шарів води знижується окисний потенціал, відбувається деградація хімічних сполук у донних відкладеннях. Так, у донних відкладеннях портів спостерігаються високі концентрації нафтопродуктів, важких металів, фенолів, СПАР, і інших токсичних з'єднань. Це приводить до вторинного забруднення морських вод в процесах днопоглиблювальних робіт і дампіngu. Варто враховувати, що одним з немаловажних джерел надходження забруднюючих речовин у прибережні райони є аварійні ситуації при вантажно-розвантажувальних роботах з нафтопродуктами й іншими речовинами в портах, а також аварійні скиди з очисних муніципальних споруд.

Основними компонентами забруднення моря є нафтопродукти. Вміст нафтопродуктів у відкритих частинах Чорного моря, в основному, нижче ГДК (0,05 мг/л). Найбільш чистим по вмісту нафтопродуктів протягом останніх років залишається регіон Великої Ялти, де концентрації нафтопродуктів постійно спостерігаються на рівні у два рази нижче ГДК - 0,02 мг/л. Рік у рік найбільш забрудненим районом прибережних вод Чорного моря по вмісту в морській воді нафтопродуктів залишаються Севастопольські бухти. Тут спостерігається перевищення рівнів ГДК у середньому в 2-3 рази, що обумовлено негативним впливом операцій з нафтопродуктами на суднах, а також забрудненням моря з берегових об'єктів.

Значний вплив на стан прибережних вод Чорного моря в районах великих міст має поверхневий стік, особливо в періоди інтенсивного танення снігів і зливових опадів. Через відсутність централізованої зливової каналізації й очищення в деяких приморських містах цей стік транспортує в море нафтопродукти, феноли, тетраетилсвинець, бензпірени та інші.

Розглянемо особливості основних чинників забруднення українського сектору Чорного моря.

1.6.2 Річковий стік

Вплив річного стоку на територіальне море визначається, головним чином, особливостями природних і антропогенних чинників формування поверхневого стоку і господарської діяльності в басейнах річок, відбору і сезонного перерозподілу стоку і т.д. Забруднення українського сектору Чорного моря, головним чином, формується під впливом якісних показників стоку Дунаю, Дністру, Південного Бугу і Дніпра. Внесок малих річок Кримського півострова у забруднення Чорного моря є незначним, хоча в період сходу снігу в горах і після злив можна спостерігати забруднення моря і ними, в основному зваженими речовинами теригенного походження та забруднюючими речовинами, притаманними поверхневому стоку з міських

територій. Основними чинниками забруднення українського сектору Чорного моря річковим стоком є його високе навантаження біогенними елементами і небезпечними речовинами, включаючи нафтопродукти, мікробіологічне забруднення, забруднення речовинами, що призводять до зростання БСК₅ і виснаження кисню. Рівень забруднення річкового стоку залежить від його здатності до самоочищення, яке, в свою чергу, залежить від багатьох чинників, у тому числі показників водозабору і зарегульованості.

Водні маси Дунаю поступають безпосередньо в море, а решти річок, у лимани. Характерною особливістю Дністра, Південного Бугу, Дніпра наявність в їх басейнах значної кількості водосховищ. Екологічна роль водосховищ неоднозначна. Водосховища зменшують стік і якість води на протязі року. Осаджуючи біогенні речовини, зокрема фосфорні і азотні, вони запобігають еутрофікації у нижній частині річки і, як наслідок, прибережних морських вод. Водосховища відіграють роль уловлювачів завислих та розчинених речовин, що призводить до активізації продукційних процесів і сприяє збільшенню у річному стоку концентрації органічних речовин. У донні відкладення попадають стійкі забруднювачі (пестициди, поліхлорбіфеніли, діоксини та ін.), важкі метали і радіонукліди. Такі “приховані” джерела забруднення можуть приходити в рух при низьких рівнях води, а також в періоди сильної турбулентності.

Вплив водосховищ виявляється також у зміні гідрологічного режиму річок і динаміки осадження зважених наносів. З другого боку, при зростанні зарегульованості водного стоку зменшується каламутність води, оскільки значна частина наносів акумулюється у водосховищах.

Так, наприклад, середня багаторічна величина твердого стоку Дунаю, який вважається найбільш каламутною з великих річок Європи, за період 1921 – 1960 рр. становила 67,5 млн.т/рік, за 1959 – 1979 рр. - 44,2 млн.т/рік, а за 1978 – 1997 рр. - 38,2 млн.т/рік. Зміна режиму переносу завислих твердих часток створює проблеми в районі дельти Дунаю та прилеглих ділянок узбережжя Чорного моря. Аналогічна картина склалася для Дністра. Завдяки гірському характеру живлення, для Дністра характерні високі концентрації зважених наносів. Цікаво, що в нижньому б'єфі Дністровського водосховища стік завислих наносів суттєво зменшився в порівнянні з тим, що спостерігався у природних умовах. Зарегульованість річкового стоку призводить до зниження швидкості течії у пониззі річок, що сприяє замуленню та перерозподілу стоку по рукавах.

Будівництво гребель та водосховищ суттєво зменшило площі заплавних земель, що негативно відбилося на середовищі мешкання рослинного і тваринного світу. На деяких річках, зокрема на Дністрі, доводиться здійснювати спеціальні екологічні попуски води із водосховищ, щоб у певній мірі відновити режим природної повені. Скорочення площ і порушення гідрологічного режиму дельт великих річок, у межах яких разом з осадженням зависі із розчину вилучаються адсорбовані нею сполуки фосфору, кремнію і органічних речовин, призводить до зниження здатності річки до самоочищення і є одною з причин зростання надходження біогенних

речовин у Чорне море та посилення в ньому ефтрофікаційних процесів. Тому одним із ефективних заходів щодо зниження рівня ефтрофованості вод Чорного моря, особливо його північно-західної частини, має бути збереження заплавних масивів гирлових зон великих річок, як природних фільтрів річкового стоку. У цьому плані особливу увагу привертає найбільша за площею дельта Дунаю.

Дельта Дунаю - найбільше і найважливіше природне болото у Європі. Частина її (53%) проголошена у 1991р. “болотистою зоною міжнародного значення” і визнана місцем “Світової спадщини” за Рамсарською конвенцією.

Уся румунська частина дельти у вересні 1990р. була оголошена біосферним заповідником. В українській частині дельти заповідними є 150 кв. км (близько 10%), решта використовується в сільському господарстві.

Останні роки характеризувалися як період зростання водності усіх чотирьох великих річок водозбірного басейну ПЗЧМ.

В антропогенній складовій річкового стоку переважають забруднюючі речовини, що містяться у стічних промислових та побутових водах, а також поверхневих стоках із урбанізованих територій і сільськогосподарських угідь. Для складу останніх характерні підвищені концентрації зважених речовин органічного і теригенного походжень, а також важких металів, біогенних сполук, пестицидів та нафтопродуктів. Зростання валових показників виносу забруднюючих речовин призводить до розширення масштабів їх впливу на екосистеми прибережної зони моря.

1.6.3 Скиди промислових і побутових стічних вод

Матеріальне виробництво, сфера послуг і соціальна сфера обумовили утворення великих об'ємів забруднених стічних вод, скиди яких здійснюються в прибережні зони моря. Багаторічна експлуатація цих зон як приймача комунальних, зливних і виробничих стічних вод призвела до їх хронічного хімічного і бактеріального забруднення і зумовила виникнення несприятливої екотоксикологічної і епідеміологічної ситуації практично на всьому причорноморському узбережжі України. Постійно діючими і потенційно небезпечними джерелами забруднення прибережних вод Чорного моря, в першу чергу, є об'єкти житлового комунального господарства, морського транспорту, промисловості, сільського господарства та рекреації - рис.1.3 -1.5.

Уяву про об'єми скидів стічних вод безпосередньо у Чорне море і річки, стік яких формує якість прибережних морських вод, можна отримати аналізуючи дані звітності відповідних підприємств по формі 2ТП – Водгосп, які можна отримати засобами INTERNET за адресою: [www.menr.gov.ua]. Аналіз даних цієї звітності за період 2005 – 2007 свідчить, що за рівнем негативного впливу скидів стічних вод у цей проміжок часу найбільший збиток екосистемам прибережних вод українського сектору Чорного моря наносили об'єкти житлово-комунального господарства і морського транспорту (табл. 1.6).

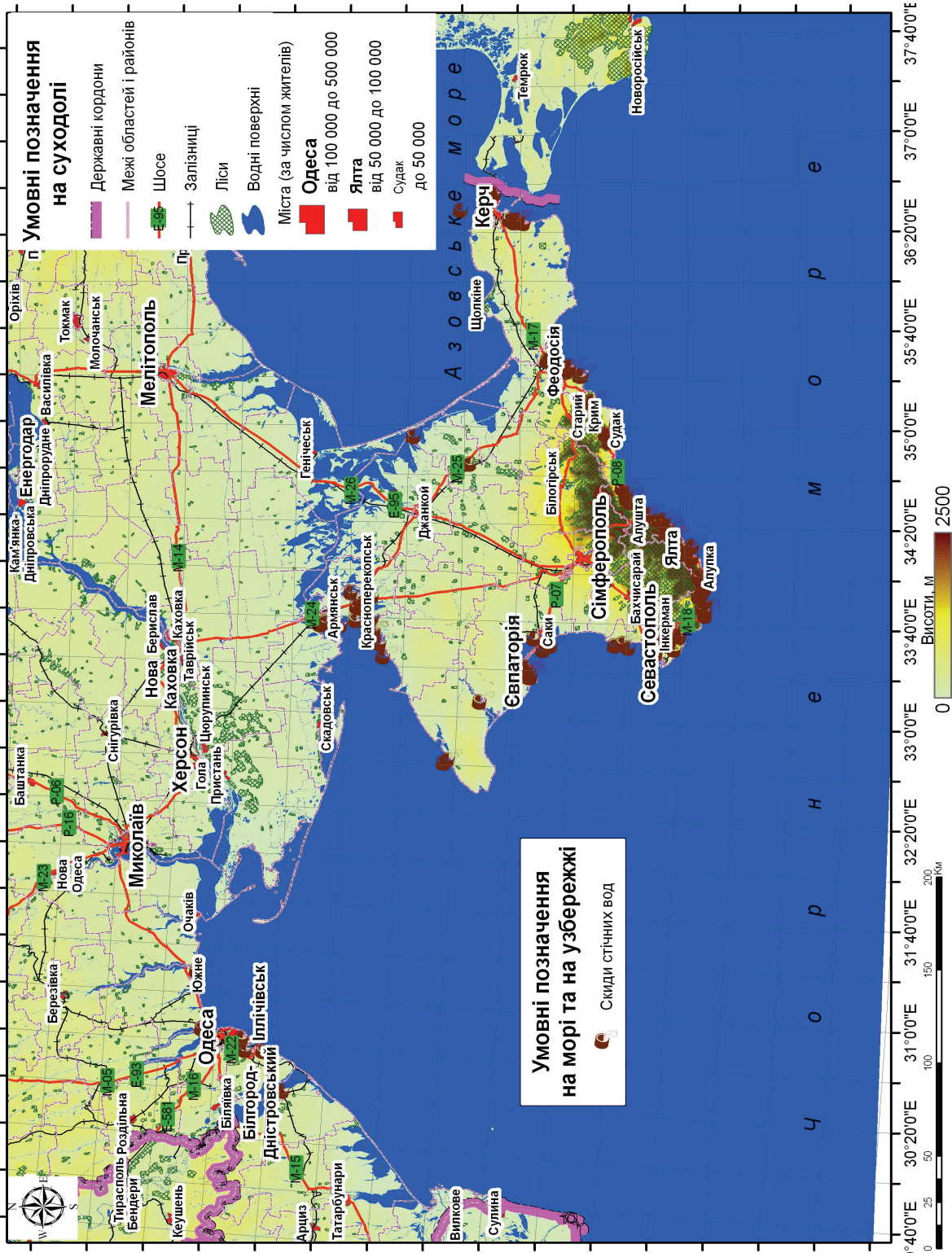


Рис. 1.3 - Локалізація зон зосередження берегових джерел скидів стічних вод

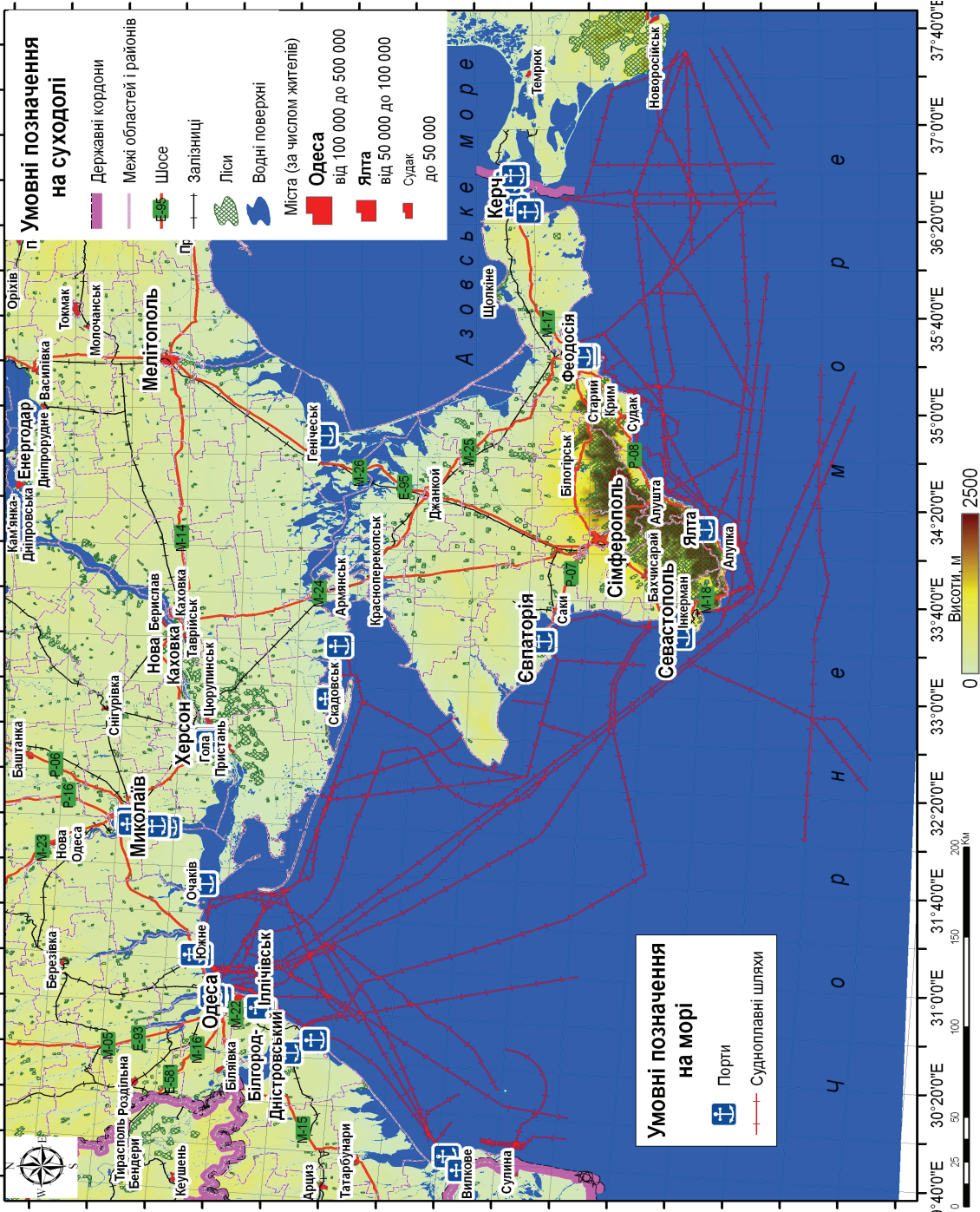


Рис. 1.4 - Порти та судноплавні шляхи, як зони підвищеного ризику забруднення вод українського сектору Чорного моря

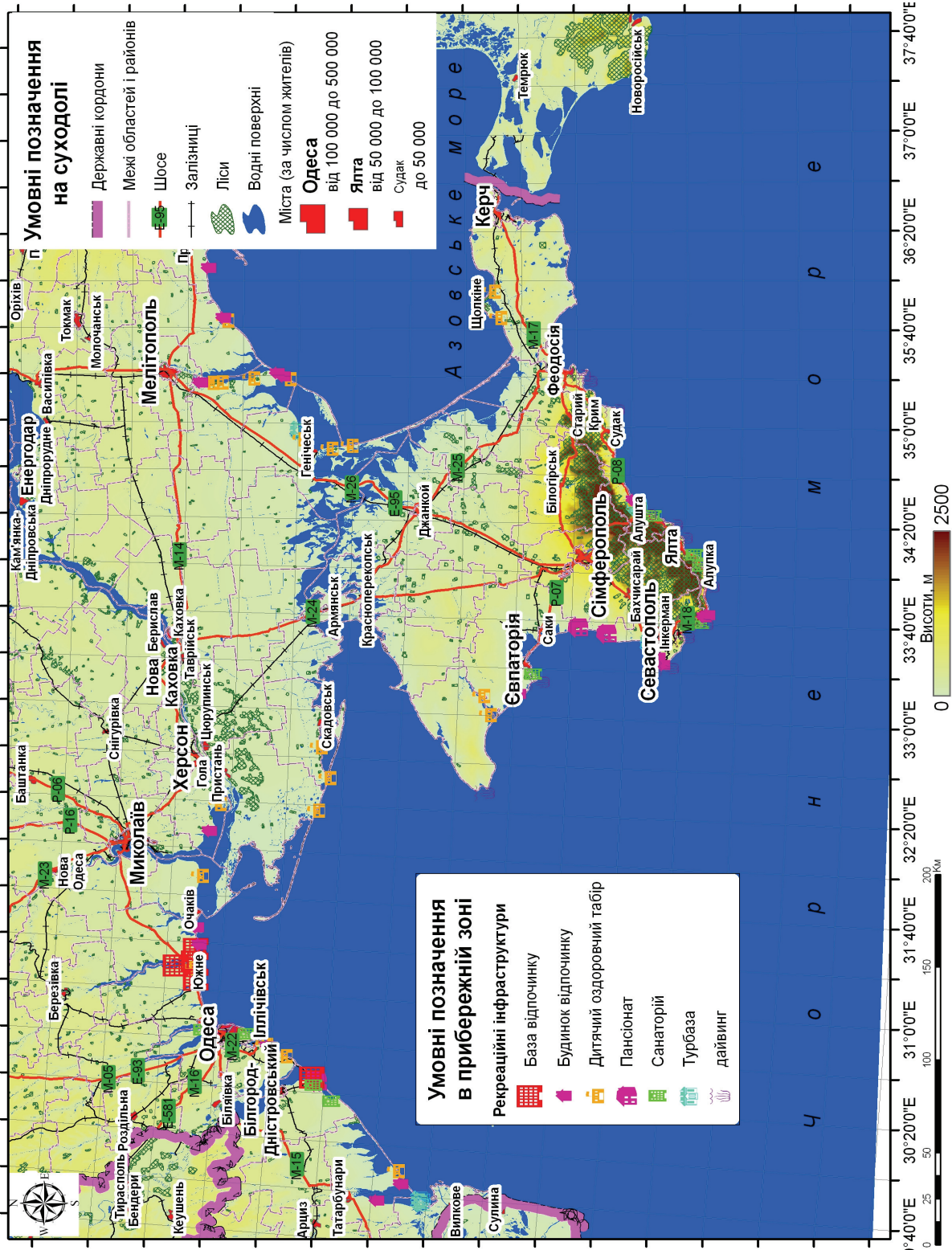


Рис. 1.5 - Локалізація зон зосередження об'єктів рекреації

Наприклад, у 2006 році загальні об'єми стічних і поверхневих вод, які транспортували забруднюючі речовини різної природи безпосередньо у Чорне море сягали 95 млн. м³. При цьому доля поверхневих вод без очищення складала 1.9млн. м³. До 2008 року ці об'єми мали тенденцію до зростання, а з середини 2008 року, внаслідок світової фінансової кризи, до скорочення

Таблиця 1.6 - Доля економічного збитку, нанесеного скидами стічних вод причорноморського регіону України

Назва видів господарської діяльності	Збиток %
Житлово – комунальне господарство	59
Берегові об'єкти морського транспорту	32
Промисловість	8
Об'єкти рекреації	1

1.6.4 Забруднення моря нафтою і нафтопродуктами

Нафта і нафтопродукти (НП) відносяться до найбільш небезпечних і найпоширеніших забруднювачів моря. Нафтопродукти надходять у територіальні морські води під час транспортування нафти, геологічно – пошукових робіт на шельфі, експлуатації морських платформ, зі скидами промислових і комунальних стічних вод, а також з річковим і поверхневим стоками. Деякі кількості вуглеводнів (ВВ) потрапляють у воду в результаті прижиттєвих виділень рослинними і тваринними організмами морських екосистем, а також унаслідок їхнього посмертного розкладу. Згідно з "Конвенцією про захист Чорного моря від забруднення", НП входять до переліку найнебезпечніших речовин. Їх вплив на морське середовище обумовлюється: значною кількістю джерел, надходженням до всіх компонентів навколишнього середовища, великими площами поширення, відносною стійкістю у донних відкладах. Слід зазначити, що НП сорбують токсичні метали, збільшуючи їх міграційну здатність, сприяють токсикації сполук, що первинно були відносно безпечні. Тривалість існування нафти (нафтових плям) на поверхні моря може становити від декількох годин до десятків діб. Забруднення НП погіршує обмін кисню у поверхневому шарі морської води. На повне окислювання 1л нафти потрібні запаси кисню, розчиненого у 400 тис.л морської води. 1 т нафти забруднює 12 кв. км поверхні моря, де через різке зменшення вмісту кисню у воді порушується процес природного її самоочищення, що спричиняє зміну всього екологічного стану морської акваторії. Нафта, потрапивши у воду, швидко покриває великі площі, при цьому товщина забруднення також буває різною. Наприклад, за даними авіазйомки, виконаної морською гідрометеостанцією "Опасне", в результаті катастрофи теплохода "Адмірал Нахімов" у 1986 р. при розливі 160 т НП у районі аварії площа плям становила 359 кв. км. Важко уявити площу забруднення нафтою Мексиканської затоки після пожежі й руйнування нафтодобувної морської платформи.

Холодні погода і вода уповільнюють розтікання нафти по поверхні, тому при аваріях одна й та ж сама кількість нафти покриває більші ділянки влітку, ніж узимку. Товщина розливої нафти більша в тих місцях, де вона збирається уздовж берегової лінії. Деякі типи нафти опускаються і рухаються під товщею води або вздовж поверхні залежно від течій. Сира нафта і продукти переробки починають змінювати склад відповідно до температури повітря, води і світла. Компоненти з низькою молекулярною вагою легко випаровуються. Бензин цілком випаровується з поверхні води за 6 год. Кількість випарювань коливається від 10 % при розливах важких типів нафти і нафтопродуктів до 75 % – при розливах легких типів нафти та НП. Деякі компоненти з низькою молекулярною вагою можуть розчинятися у воді. Під впливом сонячних променів нафта окислюється. Тонка плівка нафти і нафтової емульсії тим легше окисляється у воді, чим товстіший шар нафти. Нафта з високим вмістом металів або низьким вмістом сірки окислюється швидше, ніж нафта з низьким вмістом металів або високим вмістом сірки. Хвилювання моря і течії сприяють утворенню емульсії нафти у воді та води в нафті. При цьому суцільний шар нафти розривається, перетворюється в дрібні крапельки. В результаті формується важкорозчинна водно-нафтова емульсія. Виділяють емульсію двох типів: пряму "нафта у воді" і зворотну – "вода у нафті". Прямі емульсії, складені крапельками нафти діаметром до 0,5 мкм, менш стійкі й характерні для нафти, що містить поверхнево-активні речовини. При видаленні летючих фракцій нафта утворює в'язкі зворотні емульсії, які можуть зберігатися на поверхні, переноситися течіями, викидатися на берег і осідати на дно. Водно-нафтова емульсія містить від 10 до 80 % води; 50–80%-емульсії часто називають "шоколадним мусом" через щільний, в'язкий вигляд і шоколадний колір. "Мус" поширюється дуже повільно і може залишатися на воді або березі без зміни протягом багатьох місяців. У холодний період року через лід, повільний рух хвиль, меншу хімічну і біологічну активність нафта залишається в зовнішньому середовищі на більш тривалий період часу, ніж у теплий.

Процеси фізичного розкладання нафти та НП значно залежать від хімічного складу останніх. Нафта і продукти її переробки являють собою надзвичайно складну, непостійну і різноманітну суміш речовин (низько- і високомолекулярні граничні, неграничні аліфатичні, нафтенові, ароматичні вуглеводні (ВВ), кисневі, азотисті, сірчисті сполуки, а також ненасичені гетероциклічні сполуки типу смол, асфальтенів, ангідридів, асфальтенових кислот).

Основні компоненти нафти (до 98 %) – підрозділяються на чотири класи:

- Парафіни (алкани) – стійкі речовини, молекули яких виражені прямим і розгалуженим ланцюгом атомів вуглецю. Легкі парафіни мають максимальну летючість і розчинність у воді.

- Циклопарафіни – насичені циклічні сполуки з 5–6 атомами вуглецю в кільці. Крім циклопентану і циклогексану у нафті трапляються біциклічні та поліциклічні сполуки цієї групи. Вони дуже стійкі й погано піддаються біорозкладу.

– Ароматичні речовини – ненасичені циклічні сполуки ряду бензолу, що містять у кільці на 6 атомів вуглецю менше, ніж циклопарафіни. У нафті присутні леткі сполуки з молекулою у вигляді одинарного кільця (бензол, толуол, ксилол), а також біциклічні (нафталін), напівциклічні (пірен).

– Олефіни (алкени) – ненасичені нециклічні сполуки з одним або двома атомами водню у кожного атома вуглецю в молекулі, що має прямий або розгалужений ланцюг.

У результаті процесів випару, сорбції, біохімічного і хімічного окислювання концентрація НП може істотно знижуватися, при цьому значних змін може зазнавати їх хімічний склад. НП знаходяться в різних міграційних формах: розчиненій, емульгованій, сорбованій на твердих частинках суспензій і донних відкладів, у вигляді плівки на поверхні води. Зазвичай в момент надходження основна маса НП зосереджена у плівці. В процесі віддалення від джерела забруднення відбувається перерозподіл між основними формами міграції, спрямованої в бік підвищення частки розчинених, емульгованих, сорбованих НП. Кількісне співвідношення цих форм визначається комплексом факторів, найважливішими з яких є умови надходження НП у водний об'єкт, відстань від місця скиду, швидкість течії і перемішування водних мас, характер і ступінь забруднення природних вод, а також склад НП, їх в'язкість, розчинність, щільність, температура кипіння компонентів.

При санітарно-хімічному контролі визначають, як правило, суму розчинених, емульгованих і сорбованих форм нафти. Загальногігієнічна ГДК НП становить $0,3 \text{ мг/дм}^3$ (показник шкідливості – органолептичний), рибогосподарська ГДК – $0,05 \text{ мг/дм}^3$ (показник шкідливості – рибогосподарський). Загальні втрати НП сягають 2% їх валового споживання. Приймаючи валове споживання НП в Україні на рівні 18 млн. тон, їх втрати оцінюються близько 0,36 млн. тон на рік. Значна частина з цієї кількості протягом багатьох років надходила в поверхневі та підземні води. Якщо при цьому згадати про аварійні зливи НП, то їх кількість, які потрапили у навколишнє середовище України, набагато більша.

За характером впливу НП на геологічне середовище об'єкти, що забруднюють природні води прилеглих територій суходолу, можна поділити на три групи – просторово - розподілені, лінійні, зосереджені (локальні). До групи просторово - розподілених входять райони пошуку, розвідки й експлуатації нафтових і газових родовищ, розташованих у Південному (Причорноморському) регіоні, що включає територію Криму, Одеської і Херсонської областей, а також акваторію ближнього шельфу Чорного моря.

Група лінійних об'єктів представлена нафтопроводами, що проходять Одеською, Херсонською і Миколаївською областями.

До зосереджених об'єктів належать нафтопереробні заводи (НПЗ) – Одеський, Херсонський, великі нафтобази, підключені до нафтопереробних заводів (близько 10), а також нафтобази, заправні станції, залізничні станції, аеродроми і т.д.

Відповідно до світової статистики, на промислові, комунальні, міські стоки, атмосферні опади припадає в середньому 72 % НП, поступаючи до світового океану, а на морські джерела, в основному танкерний флот й інші судна – 28 %. Втрати НП при перевезеннях танкерним флотом сягають 1 % їх загальної кількості. Україна має на Чорному морі 18 портів, 11 з яких розташовані в північно-західній частині Чорного моря (ПЗЧМ). Сьогодні в Україні перевалку НП і нафти здійснюють в основному три морських порти: Одеський, Феодосійський і Ренійський. Із збільшенням кількості суднозаходів нафтоналивних танкерів у порти України зростає ймовірність аварійного забруднення морської екосистеми в результаті вантажно-розвантажувальних робіт, експлуатаційних аварій. Свідченням зростаючої ролі Чорноморського узбережжя України для транзиту НП є такі показники. У Феодосійському порту на 1998 р. була закінчена реконструкція північного причалу, що дозволило порту приймати танкери з вантажною спроможністю до 80 тис т. Реконструкція в 1997–98 рр. перевалочної нафтобази Феодосійського порту, заміна резервуарного парку, будівництво нової насосної станції, переустаткування фронтів розвантаження цистерн, заміна на нові підвідних нафтопроводів і шлангового господарства дозволили до 1999 р. збільшити нафтоперевалку до 3,7 млн. т сирої нафти і 294 тис. т НП. Якщо в 1997 і 1998 рр. обсяги перевалки нафти через Одеську нафтогавань становили по 14 млн. т, то вже у 1999 р. ця цифра сягнула майже 18 млн. т. На сьогодні перевалочна здатність нафтогавані Одеського порту – більше 27 млн. т на рік. Введений в експлуатацію нафтоперевалочний комплекс "Южний" – має потужність на початковому етапі 9 млн. т, прийом танкерів дедвейтом – до 100 тис. т. Перспективна потужність терміналу – 40 млн. т. Додатковий, і суттєвий, чинник ризику забруднення Чорного моря НП виникне внаслідок реалізації міжнародного проекту „Південний потік”.

Зростання обсягу перевезення морськими шляхами сирої нафти і НП підвищує загрозу аварійних розливів.

Однак найбільші обсяги нафтопродуктів попадають у морське середовище не при великих аварійних розливах, а при щоденному оперуванні суден з баластовими водами танкерів, у результаті розливів під час перевантаження і т. і. Тому у просторовому відношенні найбільш істотне забруднення морів характерне для районів судноплавних трас, портів і якірних стоянок. При цьому треба мати на увазі, що такі фактори як вітрова діяльність і гідродинамічний перенос сприяють поширенню нафтопродуктів на значні відстані.

На рис.1.6 наведено сталу щільність нафтових плівок, виявлених при аналізі 165 радіолокаційних зображень акваторії Чорного моря із супутників ERS-2 і Envisat за 2000, 2001, 2002 і 2004 р. На зображенні чітко виділяються найбільш забруднені акваторії, приналежні до двох основних трас нафтотранспортування: Одеса - Стамбул і Новоросійськ - Стамбул.

Відсутність достатньої кількості належних портових споруд для забезпечення обробки еколого-небезпечних вантажів, зокрема НВ, належного

екологічного контролю, а також низька забезпеченість морських транспортних засобів системами очистки побутових вод сприяє росту рівня забруднення акваторій портів українського сектору Чорного моря. В Одеському, Іллічівському, Керченському портах вміст НП у воді в останні роки складав 1 – 1,5 ГДК. Перевищення ГДК щодо вмісту НП в акваторіях ряду портів, якірних стоянок та місць зосередження плавзасобів пов'язане із забрудненням морських вод об'єктами Чорноморського флоту Російської Федерації та Чорноморського флоту України, яке відбувається внаслідок операцій з НП і нафтовими стічними водами на судах та берегових об'єктах. У бухтах Південна, Камишова, Голландія, Карантинна та Північна вміст НП у поверхневих шарах моря за останні роки постійно перевищує ГДК в середньому в 3–10 разів. Треба зауважити, що починаючи з 1999 р. загальний вміст НП у бухтах Севастополя постійно знижується, що пов'язано зі скороченням військової діяльності та конверсією на об'єктах обох Чорноморських флотів.

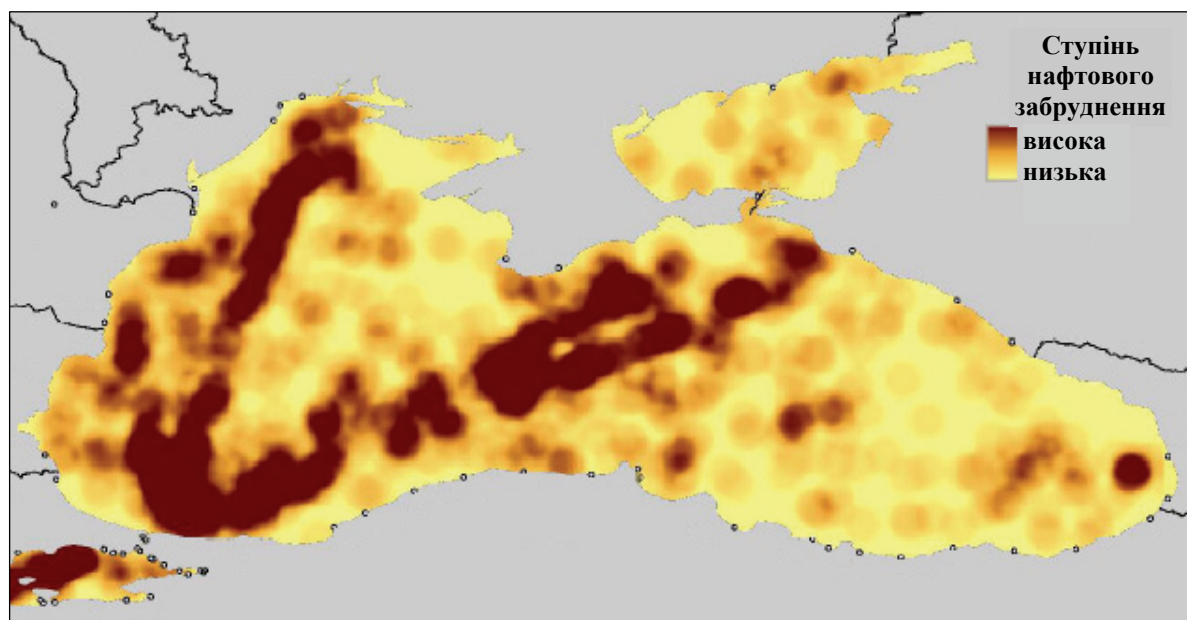


Рис.1.6 - Стала щільність нафтових забруднень Чорного та Азовського морів

Суттєвий вплив на стан морських екосистем мають процеси накопичення нафтопродуктів у донних відкладах. Поглинання НП донними відкладами не можна відносити до процесів самоочищення акваторій, оскільки розклад НП в осадах відбувається значно повільніше, ніж у воді, і тому, відклади можуть стати джерелами вторинного забруднення. Яскравим прикладом цього є аналізи проб на вміст НП, виконаний у травні 2000 р. в акваторії Одеського порту. Концентрації забруднювачів у поверхневому шарі води не перевищували гранично допустимі концентрації (ГДК), у придонних горизонтах склали 1,5 ГДК, а в донних відкладах сягали 9 ГДК. Загалом, вони мають не тільки техногенне походження – фонові бітумоноїдні речовини являють собою продукти перетворення залишків органічного світу, що потрапляють на дно. Вміст їх у верхньому шарі донних відкладень може досягати 100 мг/кг

сухої породи. Аналіз результатів експедиційних і лабораторних досліджень вказує на те, що на більшій частині Чорного моря донні відклади згідно з "Класифікацією ґрунтів днопоглиблення за ступенем їх забруднення для Азово-Чорноморського басейну в межах України" характеризуються в цілому як умовно чисті або помірно забруднені ґрунти (класи I і II). Лише у деяких районах моря є ділянки, де якість донних відкладів не відповідає екологічним вимогам, а рівень забруднення характеризує ці донні відклади як дуже забруднені ґрунти (клас III). Це насамперед стосується акваторій портів, особливо Одеського і Севастопольського, районів скиду стічних вод та деяких ділянок Придунайської зони. Так, найбільший рівень забруднення донних відкладів НП (понад 450 мг/кг) зафіксовано біля входу до Карантинної бухти порту Севастополь і на станціях Придунайського району. Концентрації НП, які потрапляють у клас III (понад 300 мг/кг), також були зафіксовані у донних відкладах поблизу місця скидання з Одеської станції біологічного очищення "Південна" та у районах дампіingu в ПЗЧМ. У цих районах та у місці скиду стічних вод м. Балаклава спостерігалися підвищені концентрації ароматичних речовин і бензопірену, які становили 50–340 мг/кг і 17–23 мкг/кг, відповідно.

У загальному розподілі техногенних НП спостерігається подвійна закономірність. У відкритій частині моря вони розподіляються зонально. На відстані декількох сотень метрів від берега вміст бітумоїдних речовин становить понад 30 мг/кг. Потім йде смуга шириною від 1 до 5 км з концентрацією бітумоїдних речовин від 30 до 50 мг/кг. У зовнішній зоні, найбільш віддаленій від берега, вміст бітумоїдних речовин високий – 50–100 мг/кг. Такий розподіл цих речовин може бути пов'язаний із зміною гранулометричного складу донних відкладів, а саме: з віддаленням від берега переважають пелітові відклади, що сорбують НП. Ця закономірність порушується в пригирлових районах, портах і бухтах, де вміст НП у донних відкладах більш високий і досягає 3600 мг/кг.

1.6.5 Надходження забруднюючих речовин внаслідок господарської діяльності на шельфі

За характером впливу на море господарської діяльності на шельфі можна поділити на таку, що забезпечує і безпосередньо впливає на надходження поллютантів в морське середовище, та таку, яка створює умови, що сприяють цьому.

До першого типу належать такі види діяльності, як:

- а) днопоглиблювальні роботи, дампінг ґрунтів;
- б) розвідка та експлуатація нафтогазових родовищ.

Другий вид діяльності складають:

- а) видобування будівельних матеріалів та будівництво берегозахисних споруд;
- б) донний траловий промисел.

Варто також виділити потенційні та інертні джерела, які не дуже поширені в донних відкладах акваторії, але при зміні умов або досягненні певного часу можуть перейти в активну форму забруднення.

Пошуки, розвідка та експлуатація нафтогазових родовищ мають локальний вплив на морські екосистеми. Найбільше потенційно багатим вуглеводневою сировиною в Україні можна вважати Південний нафтогазоносний регіон – загальна оцінка його ресурсів досягає 1531,9 млн т умовного палива. Однак геолого-географічна специфіка регіону визначає низьку ефективність їх використання – до 3 %. Це ж створює додаткові екологічні загрози як для прибережних територій, так і для морського середовища. Один з основних чинників цих загроз - видобування сировини в зоні Азово-Чорноморського шельфу. За прогнозами, в недалекому майбутньому обсяг буріння в цьому регіоні сягне 610 тис. м, тобто при середній глибині свердловини 3000 м на континентальному шельфі з'явиться не менше 200 нових свердловин.

На сьогодні на Чорному морі основна кількість бурових свердловин припадає на район акваторії, прилеглій до півострова Тарханкут та центральної частини шельфу рис 1.7.

Процес експлуатації морських стаціонарних платформ супроводжується постійними ризиками забруднення прилеглих до них акваторій моря і донних відкладів, оскільки відбувається як постійне надходження НВ у водне середовище, так і разові викиди при різних нештатних ситуаціях. Серед цих викидів можуть бути відходи буріння і нафтовидобутку та їхніх компонентів, наприклад пластових вод з нафтогазоносних підземних шарів. Вони мають мінералізацію від 1 до 300 г/л і хімічний склад, що залежить від геологічного віку, складу і стратиграфічного розташування продуктивного шару.

Пластові води нафтових родовищ містять також нафту і значну кількість солей органічних кислот (нафтенових, жирних), отруйних речовин (ОР) (феноли, ефіри, бензоли) і токсичні елементи (бор, літій, бром, стронцій). Пластові води утворюються на видобувних нафтових платформах у набагато більших кількостях, ніж бурові розчини і шлам в процесі їх промислової експлуатації.

Нафта, що надходить із земних глибин на поверхню, містить значну кількість води, яка утворюється впродовж всього процесу нафтовидобування у величезній кількості.

Цей вид забруднення зазвичай згадується мало, але він є істотною загрозою для моря та його мешканців. Як правило, нафтові сепаратори відокремлюють в основному завислу і дисперговану нафту, тоді як водорозчинні фракції нафти в концентраціях від 20 до 50 мг/л і вище залишаються і потрапляють за борт зі скидами. А це бензол, етиловий бензол, толуол, що є одними з найотруйніших і небезпечних для живих організмів НП. Нафта, що надходить із пластовими водами, може становити до 20 % усіх нафтових скидань в районі розміщення бурових платформ. Крім власне нафти, пластові води відрізняються підвищеним вмістом поліароматичних (особливо токсичних) вуглеводнів. При концентрації пластових вод 68,7 мг/л загибель риб спостерігається через 1–2 доби.

Вибурена порода накопичує в процесі буріння нижніх горизонтів сиру нафту та її фракції. При контакті вибуреної породи з буровим розчином її мінеральні частинки адсорбують токсичні речовини, що входять до його складу. Відповідно до деяких міжнародних стандартів (GESAMP, 1993), допустимий вміст нафти в шламах, що скидаються, не повинен перевищувати 100 мг/л. Але навіть якщо вважати, що ця норма дотримується, то вона набагато вища за концентрації, що викликають летальний ефект у донних угруповань.

Бурові стічні води утворюються на ситах-конвеєрах при їх промиванні від породи, що вилучається зі шпари глинистим розчином, охолодженні бурових насосів, змивці глинистого розчину, розлитого під час спуско-підйомних операцій. Обсяг бурових стічних вод одного циклу буріння становить 5000–8000 м³. Їхні фізико-хімічні властивості залежать від складу і кількісного співвідношення речовин, що утримуються в них: глинистого розчину, обважнювача, подрібнених порід, хімічних добавок до бурового розчину, включень нафти, відпрацьованих олій. В бурових стічних водах утримуються: вуглелужний реагент, конденсована сульфід-спиртова барда, карбоксиметіл - целюлоза, гіпан, окзил, нітролігнін, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР) та інші реагенти, багато з яких є захисними колоїдами. Бурові стічні води можуть містити до 9500 мг/л отруйних речовин, в тому числі 5000–8000 мг/л НП.

Термін "дампінг" визначається як загальна кількість відходів, що скидаються в море з метою поховання. Дампінг ґрунтів на підводні морські відвали в районі досліджень проводиться головним чином при будівництві, реконструкції, ремонтному черпанні на акваторіях портів та їх підхідних каналів. Роботи з днопоглиблення – специфічний вид господарської діяльності, при якому і розробка, і складування ґрунтів виконується безпосередньо у водному середовищі. За статистикою, щорічно тільки в ПЗЧМ складається більше ніж $5 \cdot 10^6$ т ґрунту.

Для каналів таких портів, як Одеса, Іллічівськ, кількість ґрунту що вилучається щорічно, сягає відповідно 870 та 90 тис. м³.

Дампінг суттєво впливає на морські екосистеми і може бути постійним або тимчасовим. Постійний вплив – це зміни рельєфу, якісного складу донних ґрунтів, що призводить, в свою чергу, до змін гідродинамічного та літодинамічного режимів, умов існування гідробіонтів. Тимчасовий вплив пов'язаний з періодом скидання ґрунту (підвищена каламутність, вторинне забруднення води, якщо ґрунт відбирався на техногенно-навантажених ділянках – акваторіях портів, тощо). Верхній шар донних відкладів гаваней, акваторій портів та підхідних каналів має значний вміст промислових та побутових відходів. Щільність техногенного твердого матеріалу на морському дні тільки в межах смуг рекомендованих курсів може сягати 500–1000 екземплярів на квадратну милю. Відповідно матеріал днопоглиблення, що складається, негативно впливає на екосистеми району складування. Ступінь негативного впливу залежить від біотичних та

абіотичних факторів. До останніх належать спосіб вилучення та скидання ґрунту, частота та об'єми скидання, характер гідродинамічного режиму, рівень забрудненості речовини. Основним токсикантом, який надходить в море при дампінгу ґрунтів, є НП. Їх кількість на два порядки перевищує надходження з ґрунтами миш'яку, свинцю та міді. Це пов'язано з тим, що дночерпання відбувається головним чином у акваторіях портів та підхідних каналах до них, на ділянках з забрудненими НП донними відкладами. У районах дампінгу ґрунтів українського сектору Чорного моря відмічається зменшення складу та чисельності іхтіо-планктону, що негативно впливає на розвиток промислової іхтіофауни. Наприклад, у районі дампінгу ґрунтів біля с.м.т. Кача кількість безхребетних тварин за три роки скоротилась від 123–128 таксонів до 72 (57 %), а за дещо тривалий час зменшилась до 29 видів.

Суттєво впливає на екосистеми прибережних вод українського сектору Чорного моря донний траловий промисел. Активний донний траловий промисел проводився протягом багатьох десятиліть у Центральному та Тендрівсько-Каркінітському районах шельфу, в Каламітській затоці та акваторії, що межує з дельтою Дунаю. Вплив на біоту цих ділянок полягає в зміні поверхневого рельєфу дна та переводі в завислий стан верхньої частини донних відкладів. В останні роки введена заборона на донний траловий промисел, але негативні наслідки вже відбулись і набули значного впливу. Загалом, за період 1976–1988 рр. у процесі промислу донними тралами було перевідкладено $70 \cdot 10^6$ т дрібнодисперсних частинок. В Тендрівсько-Каркінітському районі та у центральній частині шельфу (райони підняття Штормове та Архангельського) донним траловим промислом порушено типовий склад донних відкладів на площі 3350 кв.км. У межах полів розвитку піщано-детритових відкладів та мулистих черепашковиків відбулась седиментація напіврідкого глинистого мулу сірого та темно-сірого кольору потужністю до 5 см, з пелітовою складовою – 80–90 %. Вміст важких металів, зокрема Zn, Co, Ni, Cr, V, Pb на 40-100 % перевищує фоновий по району. Головним чином площі поширення замулених ділянок збігаються з напрямками головних течій і розташовуються вздовж них (північно-західне в напрямку Західно-Тендрівського підняття та північно-східне і східне в напрямку Каркінітської затоки). За розрахунками, при середній потужності наїлку 3 см його загальний об'єм сягає 100 млн. т, середньорічне накопичення – 10 млн. м³. Швидкість седиментації (5–40 мм/рік) на декілька порядків вища за седиментацію на загальній території (5–40 мм/1000 років). Це може бути пов'язано з сорбційною ємністю глин, які при пересуванні у водному шарі акумулюють елементи з води.

У процесі видобування будівельних матеріалів (головним чином це пісок, гравій, галька, ракушняк) в прибережно-шельфовій зоні утворюються надводні та підводні кар'єри, які суттєво впливають на динамічний стан останньої. Наслідком того, що промислова експлуатація проводилась не тільки на реліктових акумулятивних формах (які знаходяться за межами

сучасної берегової зони і мають глибини понад 10 м), але і в родовищах, що залягають на менших глибинах, відбуваються зміни динамічного стану прибережно-шельфової зони.

Значний негативний вплив на природний баланс наносів берегової зони має і недосконале вирішення проблем укріплення берегів моря, які інтенсивно руйнуються (на чорноморському узбережжі з 1629 км майже 1000 км зазнає інтенсивного руйнівного впливу абразійних та інших хвильових процесів).

Зміни, пов'язані з антропогенним тиском на процеси абразії берегів, порушення природного балансу наносів, в свою чергу впливають на умови сучасного осадконакопичення в зоні взаємодії суходолу з морем. Вплив людини на процеси підводної абразії може завдати суттєвих змін розподілу речовини відповідно до геохімічної зональності донних відкладів. Заміщення мулистих осадків пісками чи навпаки, неминуче призведе до перебудови біоценозів. З цим також можуть бути пов'язані такі екологічно небезпечні явища, як вторинне забруднення, пересування токсичних речовин із осередків забруднення та концентрація їх на інших ділянках прибережної зони, перепоховання токсичних речовин у донних відкладах.

Джерела потенційного та "інертного" забруднення морського середовища значною мірою мають умовну загрозу життєдіяльності людини на шельфі і здебільшого пов'язані з військовою діяльністю у межах акваторії.

До потенційних джерел забруднення варто віднести такі:

- транспортні судна та бойові кораблі, затоплені за різних умов в останнє століття (головним чином у період Громадянської та Великої Вітчизняної війн). Так, за період 1941-44 рр. тільки в межах ПЗЧМ було затоплено декілька десятків одиниць плавзасобів, більшість – з небезпечними речовинами на борту, які становлять підвищену небезпеку життєдіяльності гідробіонтів та людей;
- звалища вибухових речовин та місця поховання різноманітної зброї.

До "інертних" джерел належать такі:

- траси військових засобів зв'язку. Тільки за радянську історію Чорноморського флоту, за даними відділу зв'язку ЧФ та радіотехнічної служби гідрографії флоту, по дну Чорного моря прокладені сотні тисяч кілометрів кабельних трас зв'язку та спецпризначення, які поєднують головну базу ВМС Севастополь з базами на Чорному морі: Ізмаїл, Одеса, о-в Зміїний, Чорноморське, Донузлав, Балаклава, Ялта, Феодосія, Керч. При цьому 50-60% кабелів виключені з використання як технічно непридатні. Матеріали складових кабелів (мідь, свинець) відносно інертні і не мають інтенсивного обміну з водною фазою.
- трубопроводи, які сприяють змінам придонного гідродинамічного режиму (середня висота трубопроводів становить 1,2 м). В кінцевому рахунку це призводить до накопичення різноманітного сміття, яке переноситься придонними вздовж береговими течіями.

1.6.6 Надходження важких металів у складі атмосферного аерозолі

Абсолютна кількість елементів, які щорічно надходять з атмосферними потоками в Чорне море, становить один порядок з величиною надходження останніх у складі річкових вод. Надходження аерозолі з атмосфери на водну поверхню відбувається під впливом гравітаційного осідання, вимивання дощами та динамічного осідання (антициклони). Гравітаційне випадання властиве частинкам розміром понад 8 мкм. Ефективний прискорювач виведення з атмосфери континентального пилу меншої розмірності – морський аерозоль (рідкі частинки). Хмарність також значно прискорює випадання атмосферної речовини. Максимальна вимиваюча здатність властива таким погодним явищам, як снігопад, морось, туман і дощ. При інтенсивності дощу 2,5 мм/рік за декілька годин вимивається 90 % змочуваних та 25 % незмочуваних частинок.

Швидкість гравітаційного осідання частинок аерозолі становить в середньому 0,35–50 см/с. Збільшення вологості та атмосферні опади змінюють характер процесу – внаслідок агрегування в краплях води збільшується швидкість осідання.

Атмосферний аерозоль над акваторією моря має три основні складові:

- солі морського походження;
- континентальний пил;
- елементи та сполуки антропогенного походження.

Надходження першої складової визначається розприскуванням та випаровуванням води з поверхні океану, причому при утворенні морський аерозоль значно збагачується елементами, які знаходились у воді в складі зависі чи органічних комплексів. Якщо метали натрій, калій, магній, кальцій мають безперечне океанське походження і надходять в атмосферу у складі морських солей, то їх інша група – Ni, Co, V, Cr, Cu, Pb, Cd, Zn має континентальне походження та пересувається з частинками пилу. Ртуть та миш'як присутні в атмосфері головним чином у газоподібній формі.

Континентальна складова включає природні продукти еолового зносу і також знаходиться під побічним антропогенним впливом – розораність земель та їх використання - землеробство, скотарство тощо.

Континентальні аерозолі природного походження поділяються на три основні групи:

1. Продукти вітрової ерозії континенту (головний компонент складу – кремнезем). Для українського сектору Чорного моря який знаходиться в області аридного клімату та межує із зоною степів, безперечно, це основна частина атмосферного надходження речовини.

2. Продукти рослинного метаболізму, головним чином пилок та спори рослин. Загальна кількість пилку та спор у світі, що виділяють рослини, становить приблизно 1,6 млрд. т. При розмірі пилку та спор від 1 до 200 мкм і непропорційно малій вазі вони тривалий час знаходяться у повітрі та переносяться на тисячі кілометрів.

3. Продукти вулканічної діяльності. Як і попередня група, вони впливають на загально географічні фонові концентрації елементів, перебування яких в атмосфері становить значний термін і суттєвого впливу на акваторію Чорного моря не має.

В приземному шарі повітря для областей, вільних від промислових викидів, характерний такий порядок концентрацій елементів (нг/м³): $Zn > Cu > Cr > Pb > V > Ni > As$; $Co > Hg$.

Аерозолі антропогенного походження.

Ця група зумовлюється значними кількостями надходження, високим вмістом важких металів в аерозолях, великими відстанями переносу, широким спектром забруднюючих речовин.

Головними осередками надходження речовини в атмосферу є індустриально розвинені райони, пересування та надходження полютантів з яких визначається загальною циркуляцією повітряних мас.

Найбільш впливовий індустриальний осередок, розташований на території України, – це східні промислово розвинені області України (Запорізька, Дніпропетровська, Кіровоградська, Донецька та Луганська). Середні відстані між зоною шельфу та промисловим регіоном становлять 300-500 км. Аерозолі (з гранулометричним складом, який в середньому відповідає максимальному вмісту важких металів), що переносяться зі східного промислового осередку, сягають акваторії Чорного моря в завислому стані при сталих вітрах північно-східних напрямків середніх швидкостей за 1–2 доби.

Концентрація атмосферного аерозолі над акваторіями зазвичай на порядок менша за континентальну, що зумовлюється значною інтенсивністю осідання на водну поверхню під впливом рідких частинок морського аерозолі. За умовної кількості пилу у океанській атмосфері в 1, концентрація пилу в сільськогосподарських районах буде дорівнювати 10, невеликих міст – 35, великих міст – 150. Останнім часом у деяких прибережних містах спостерігаються сталі перевищення ГДК у повітрі для ряду забруднювачів. Найбільші рівні забруднення атмосферного повітря за середньорічним вмістом спостерігаються у містах півдня України: Одеса, Дніпропетровськ, Запоріжжя, Дніпродзержинськ, Миколаїв, та інші.

Суттєвим джерелом надходження аерозолів в атмосферу зумовлено еоловим зносом з ділянок орних земель. Більша частина розораних територій району півдня України представлена супіщаними чорноземами, на які суттєво впливає вітрова ерозія. Значна кількість вітрів, властива для цих районів, швидкості вітрів та їх домінуючі північні напрямки, належність району до степової зони з посушливим кліматом – всі ці природні фактори посилюють емісію речовини з орних територій. Речовинний склад еолового матеріалу включає мінеральний пил, солі континентального походження та техногенний пил.

Поступове збагачення верхнього шару орних земель важкими металами відбувається за таких умов:

- внесення на сільськогосподарські ділянки мінеральних добрив (в тому числі вапнування ґрунтів зрошуваних територій), які здебільшого використовуються неочищеними і в яких вміст багатьох небезпечних елементів досить значний;
- цільове внесення деяких важких металів (Cu, Mo, Zn, Mn, Fe) в якості добрив;
- внесення отрутохімікатів, головним активним компонентом яких є сполуки важких металів.

При значних вітрах чи пилових бурях збагачена важкими металами речовина верхнього шару ґрунтів переходить в атмосферну завись. Для територій суходолу Причорномор'я, розвиток еолових процесів пов'язаний з впливом північних та північно-східних вітрів.

Рівнодійна вітру в цьому регіоні в усіх точках має напрямок з суходолу в море, що сприяє розвитку атмосферних потоків речовини з сільськогосподарських площ у шельфову зону. Частинки розміром менше 0,1 мм пересуваються у складі зависі при мінімальній швидкості вітру 1–1,5 м/с. При збільшенні швидкості вітру гранулометрична розмірність аерозолі значно зростає. Для сухих ґрунтів при швидкості вітру 4 м/с на висоті 1 м концентрація еолової зависі різко зростає, при швидкості вітру 5 м/с вона зростає втричі.

В середньому висота потоку сягає 2 м від землі, а термін перебування частинок в атмосфері становить не більше ніж добу. На відміну від транзитних потоків речовини, при надходженні на водну поверхню відбувається швидке розвантаження потоку під впливом гравітаційного осідання. Тривалість сильних вітрів (10–15 м/с) напрямку суходіл–акваторія становить в середньому для Північно-Західного району 80,2 доби на рік, Кримського – 89,4.

Окрім впливу постійних вітрів протягом року на степову зону України припадає в середньому 15 днів з пиловими бурями, що спричиняють винос еолової речовини з верхнього шару ґрунтів. Уся північна частина Чорного моря розташована на шляхах пересування хмар пилу та знаходиться під їх впливом. Бурі властиві весняному періоду (60–65 %) і виникають при швидкості вітру 15 м/с та більше. Пилові бурі влітку мають періодичність 1–6 днів, їх загальна кількість, як і весняних, становить 20–30 за сезон. За даними Одеської обсерваторії, висота підняття тонкого пилу при бурях може сягати 2000–2300 м.

При цьому основна частина осадового матеріалу прибережного походження у вертикальному атмосферному шарі до 1000 м при середніх вітрах осідає в межах шельфу шириною 30–40 км. За результатами моніторингових досліджень на стаціонарній платформі в районі селища Кацівелі, виявлені деякі особливості розподілу та надходження елементів у складі атмосферного аерозолі для Південного узбережжя Криму.

Дані, отримані в процесі обробки натурного матеріалу, показали, що існує зв'язок між вмістом важких металів в аерозолях та гранулометричним

складом останніх. Збільшення концентрації кобальту, міді й особливо свинцю прямо пропорційне підвищенню вмісту пелітової складової атмосферного аерозолі. Ця залежність спостерігається і для заліза та мангану. Літературні джерела свідчать, що більшість важких металів в аерозолях пов'язана з частинками, діаметр яких в середньому становить 1–10 мкм.

На підставі результатів досліджень встановлено, що фактично для всіх важких металів продукти вітрової ерозії континенту займають незначне місце у загальному вмісті елементів в аерозолі. Найбільш показово це для свинцю та цинку. Навпаки, для таких металів, як манган, збагачення взагалі не спостерігається. Посезонний розподіл перевищень свідчить про те, що максимумами вмісту властиві аерозолям, надходження яких спостерігається з північного та північно-східного напрямків, тобто території суходолу і відповідають вітрам із значними швидкостями.

Узагальнюючи наведені дані, можна визначити закономірності впливу на атмосферне надходження в український сектор Чорного моря поллютантів.

За географічною зональністю суходол, прилеглий до району досліджень, відповідає степовій зоні, для якої спостерігається значна інтенсивність вітрової ерозії. Велика розораність прилеглої території суходолу, постійне внесення мінеральних добрив та пестицидів в орні землі значно підвищують вміст важких металів у речовині еолового знесення з сільськогосподарських ділянок. Територія Одеської, Миколаївської та Херсонської областей характеризується найбільшою повторюваністю північно-східних та північно-західних вітрів; узбережжя характеризується максимальною кількістю днів з сильним вітром (понад 15 м/с) переважаючих напрямків.

Площами найінтенсивнішого живлення антропогенної складової атмосферної зависі є індустріально розвинені східні території України. Значні швидкості вітру зумовлюють надходження на поверхню Чорного моря широкого спектру аерозолів з великим діапазоном гранулометричного складу і відповідно – видового складу поллютантів. Осадженню значної частини континентального аерозолі в межах шельфу сприяють такі природні фактори, як вологість, наявність у повітрі частинок аерозолів морського походження.

Зона взаємодії морського та континентального аерозолі, яка відповідає шельфу шириною 30–70 км, стає свого роду бар'єром, у межах якого відбувається випадання значної частини присутньої в атмосфері континентальної речовини (в тому числі) антропогенного походження.

РОЗДІЛ 2

СУТНІСТЬ КОНЦЕПЦІЇ КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЧОРНОГО МОРЯ

2.1 Сучасна організація моніторингу морських вод України

Згідно Водного кодексу України внутрішні морські води та територіальне море є складовою водного фонду України.

З метою забезпечення збирання, обробки, збереження та аналізу інформації про стан вод, прогнозування його змін та розробки науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень у галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів здійснюється державний моніторинг вод. Державний моніторинг вод є складовою частиною державної системи моніторингу навколишнього природного середовища України і здійснюється в порядку, що визначається Кабінетом Міністрів України - ст. 21 [9]. Постановою Кабінету Міністрів України був затверджений Порядок здійснення державного моніторингу вод [10]. Відповідно цьому Порядку до складу об'єктів державного моніторингу вод віднесені також:

- внутрішні морські води та територіальне море;
- виключна (морська) економічна зона України;
- джерела забруднення вод, включаючи зворотні води, аварійні скидання рідких продуктів і відходів, втрати продуктів і матеріалів при видобуванні корисних копалин у межах акваторій поверхневих вод, внутрішніх морських вод, територіального моря і виключної (морської) економічної зони України та дампінг відходів;
- надходження шкідливих речовин з донних відкладів (вторинне забруднення) та інші джерела забруднення, щодо яких можуть здійснюватися спостереження.

Розрізняють три категорії пунктів спостереження за якістю морської води.

Пункти 1-ї категорії призначені для спостереження за якістю води в прибережних районах, які мають важливе господарське значення. Вони розміщуються:

- у районах водокористування населення;
- у портах і припортових акваторіях;
- у місцях нересту та сезонного скупчення цінних риб та інших морських організмів;
- у місцях скиду міських стічних вод і стічних вод промислових та сільськогосподарських комплексів;
- у районах розробки та транспортування корисних копалин;
- на гирловому узмор'ї великих річок.

Пункти 2-ї категорії призначені для спостереження за якістю води прибережних районів і районів відкритого моря, а також для дослідження сезонної та річної зміни рівня забрудненості морських вод. Вони

розміщуються в районах, де надходження забруднюючих речовин проходить за рахунок процесів міграції.

Пункти 3-ї категорії призначені для спостереження за якістю морських вод у районах відкритого моря, для дослідження річної зміни забруднення морських вод та для розрахунку балансу хімічних речовин.

Таким чином, спостереження за якістю води в пунктах 1-ї категорії проводять в місцях скиду забруднюючих речовин, на пунктах 2-ї категорії – в забруднених районах моря, у пунктах 3-ї категорії – у відносно чистих водах.

На кожному пункті спостереження визначають кількість і місцезнаходження вертикалей та горизонталей з урахуванням розміщення та потужності джерел забруднення, а також складу, концентрації та форми надходження забруднюючих речовин.

Кількість вертикалей у пункті спостереження якості води на гирловому узмор'ї визначається його шириною: при ширині річки менше 100 м – 1 вертикаль, від 100 до 1000 м – 3 вертикалі, більше 1000 м – 5 вертикалей.

Одну вертикаль розміщують посередині русла, а інші – рівномірно по його ширині.

Кількість горизонталей визначають залежно від глибини річки: при глибині річки 1–5 м – горизонти проводять на поверхні та біля дна; при глибині 5–10 м – на поверхні, на половині глибини і біля дна; при глибині річки більше 10 м – на поверхні, через кожні 5 м та біля дна. В інших ситуаціях кількість горизонталей визначають з урахуванням глибини об'єкта, складу та концентрації забруднюючих речовин. Під час моніторингу морських вод здійснюють спостереження за такими речовинами:

1) нафтовими та хлорованими вуглеводами – на поверхні, на глибинах 5, 10, 20 м і біля дна;

2) за синтетичними поверхнево активними речовинами та фенолами – на поверхні, на глибині 10 м та біля дна;

3) за важкими металами – на поверхні, на горизонтах 10, 50, 100 м та біля дна.

Додатковим горизонтом при спостереженнях є шар води, де стрибкоподібно змінюється температура. Достовірність і повноту спостережень забезпечує виконання програм спостережень за якістю морських вод.

Відповідно до призначення державний моніторинг вод поділяється на:

- фоновий моніторинг, що здійснюється на водних об'єктах у місцях мінімального опосередненого антропогенного навантаження;

- загальний моніторинг, що складається з моніторингу на державній мережі пунктів спостережень, моніторингу антропогенного впливу на водні об'єкти, моніторингу водних об'єктів у місцях їх використання та спеціальних видів моніторингу;

- кризовий моніторинг, що здійснюється у зонах підвищеного ризику та у зонах впливу аварій і надзвичайних ситуацій.

Сутність цих видів моніторингу полягає в наступному:

Фоновий моніторинг здійснюється шляхом систематичного лабораторного контролю показників якості морських вод на акваторіях, які не зазнають прямого антропогенного впливу. Мета фонових моніторингу полягає в одержанні інформації для оцінок і прогнозування змін стану морських вод внаслідок промислової та господарської діяльності. Географічні координати і програма вимірів показників якості морських вод станцій відбору проб морської води в режимі фонових моніторингу внутрішніх морських вод, територіального моря, континентального шельфу і виключної (морської) економічної зони України на Чорному морі наведена в Додатку 1.

Загальний моніторинг здійснюється з метою виявлення фактичного стану, вироблення та прийняття рішень з ефективного використання, охорони та відтворення водних ресурсів.

Моніторинг антропогенного впливу на водні ресурси моря здійснюється шляхом проведення систематичних спостережень за якісним станом промислових, побутових, баластних та дренажних вод, що скидаються підприємствами у Чорне море і відкриті лимани, та їх впливу на стан природних вод.

Кризовий моніторинг здійснюється шляхом систематичних, частіших і додаткових спостережень за кількісними та якісними параметрами вод у зонах підвищеного ризику як на державній мережі пунктів спостережень, так і на тимчасовій мережі, що встановлюється під час виникнення несанкціонованих чи аварійних забруднень і стихійного лиха з метою оповіщення та розроблення оперативних заходів щодо ліквідації їх наслідків та захисту населення, екосистем і власності.

Реалізацію всіх видів державного моніторингу вод забезпечують його суб'єкти, до яких належать: Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Державна санітарно-епідеміологічна служба МОЗ, Держводгосп, Держжитлокомунгосп, їх органи на місцях, а також організації, що входять до сфери управління цих міністерств і відомств.

2.2 Фізика формування інформаційного сигналу при дистанційному зондуванні морських вод

Ефективність контактних методів моніторингу поверхневих вод можна суттєво підвищити за рахунок застосування технологій дистанційного зондування Землі з космосу (ДЗЗ) [11-16]. Стосовно завдань екологічного моніторингу морських акваторій їх переваги полягають:

- у високій оглядовості, можливості одержання миттєвої інформації про параметри стану морських вод на великих ділянках;
- у можливості переходу від дискретної до безперервної картини просторового розподілу значень параметрів стану морських вод;
- у можливості одержання інформації про параметри стану морських вод у віддалених районах.

Концепція космічного моніторингу морських вод полягає реалізації методів виміру власного і відбитого електромагнітного випромінювання в оптичному, інфрачервоному (ІЧ), та надвисоко частотному діапазоні (НВЧ).

В оптичному діапазоні світловий потік, який випромінюється водною поверхнею, складається з потоку, відбитого від межі поділу повітря – вода і світлового потоку з-під водної поверхні. Перша складова називається коефіцієнтом дзеркального відбиття (КДзВ), друга – коефіцієнтом дифузного відбиття (КДВ). Інтенсивність першої складової залежить від спадного потоку безпосередньо на водні поверхню і КДзВ. Величина КДзВ визначається властивостями і станом водної поверхні. Її зміни зумовлюються варіаціями властивостей водної поверхні і комплексного показника заломлення водного середовища у поверхневому шарі води. До чинників, що впливають на величину КДзВ, належать: хвилювання водної поверхні, наявність на ній нафтових чи інших поверхневих плівок, піни та інших поверхневих утворень. Основні завдання моніторингу екологічного стану морських акваторій можна звести до ідентифікації на його акваторіях нафтових плівок, аномальних концентрацій зважених речовин органічного та теригенного походжень. Саме ці показники можна пов'язати з природними і антропогенними чинниками впливу на якість морських вод. Теоретичні передумови ідентифікації на морській поверхні нафтових плівок базуються на оцінках критерію контрасту коефіцієнта відбивання R :

$$K(\lambda) = (R(\lambda) - R_{\phi}(\lambda)) / R_{\phi}(\lambda),$$

де R і R_{ϕ} – спектральні коефіцієнти відбивання відповідно нафтою і фоновою водною поверхнею.

В оптичному діапазоні коефіцієнт відбивання нафти більший, ніж води. Він приблизно сталий, а коефіцієнт відбивання води спадає зі збільшенням довжини хвилі. Отже, на космічних знімках оптичного діапазону товсті нафтові плівки виглядають світлішими, ніж фонова вода. Крім того відомо, що суттєвий внесок у відбитий нафтовою плівкою світлового потоку дають інтерференційні ефекти в плівці. Величина коефіцієнту відбивання характеризується інтерференційними коливаннями, при змінах товщини плівки d . В міру збільшення товщини плівки ці коливання загасають через поглинання світла нафтою. Чим більший коефіцієнт відбивання, тим швидше відбувається загасання. У природних умовах товщина плівки на поверхні води змінюється від центральної частини плями до периферії, а також під впливом різних чинників. З цієї причини на космічних знімках для зображень нафтових плівок характерне чергування світлих і темних смуг на периферії забруднених ділянок по всій площі забруднення.

Величина другої складової відбитого від водної поверхні світлового потоку – КДВ залежить від первинних гідрооптичних характеристик (ПГХ) - показник ослаблення α , показник розсіювання β , показник поглинання κ , індикатриса розсіювання, тощо. ПГХ, у свою чергу, залежать від концентрації і походження розчинених і завислих у воді речовин. Спектральне поглинання

чистою водою зростає з довжиною хвилі. Це обумовлює монотонне спадання КДВ чистої води від максимальних значень частини спектра, що відповідає голубим хвилям, до мінімальних значень у ближній і середній ІЧ-зонах. Розсіювання електромагнітного випромінювання на зависі залежить від її природи, оптичних і дисперсійних характеристик, довжини хвилі розсіяного випромінювання. Загалом великі часточки розсіюють світло неселективно по спектру, а розсіювання дрібними завислими часточками спадає зі збільшенням довжини хвилі, але повільніше, ніж розсіювання чистою водою. Для фітопланктону спектральний показник поглинання світла має різко окреслені локальні максимуми з центрами на довжинах хвиль поглинання хлорофілом— a $\lambda_1=430$ і $\lambda_2=675$ нм. За високого вмісту у фітопланктоні інших пігментів у спектрі КСЯ можливі локальні мінімуми. Зі збільшенням концентрації завислих речовин максимум спектрального КДВ зміщується в довгохвильову зону. У дуже каламутних водах наявність пігментів фітопланктону відбиває лише одна смуга поглинання поблизу $\lambda = 675$ нм. У прозорих водах з низьким вмістом органічних завислих речовин мінімуми в спектрі КДВ, зумовлені поглинанням пігментами фітопланктону, не виявляються зовсім. Однак і в цьому разі спектр КДВ може містити інформацію про концентрацію фітопланктону. Зазначимо, що зменшення спектральної інтенсивності відбитого світлового потоку, зумовлене збільшенням вмісту хлорофілу a у фітопланктоні, може бути зареєстровано тільки у разі дистанційної зйомки з високою спектральною роздільною здатністю.

При ДЗЗ із космосу найширше використовують багатозональну зйомку з відносно широкими спектральними каналами. За такої спектральної роздільної здатності зменшення інтенсивності відбитого світлового потоку, зумовленого поглинанням хлорофілом a , не реєструється, і збільшення концентрації фітопланктону призводить, як і в разі неорганічних завислих речовин, до збільшення КДВ. У водах з низькими концентраціями завислих речовин показник ослаблення світла визначається в основному показником поглинання чистою водою K_0 , отже, глибина шару, який формує відбитий світловий потік, у оптичній і ближній ІЧ-ділянці спектра спадає зі зростанням довжини хвилі. Наявність вертикального градієнту концентрації завислих речовин призводить до збільшення КДВ зі зростанням концентрації з глибиною і до зменшення КДВ – у протилежному випадку. Зміна КДВ буде тим сильнішою, чим більша величина градієнта і чим ближче до поверхні води він знаходиться. Таким чином формування світлового потоку, відбитого від водної поверхні, його величина визначається, головним чином, наявністю на водній поверхні нафтових плівок, їх товщиною, іншими поверхневими утвореннями, концентраціями завислих речовин, розчиненої забарвленої органіки, їх вертикальним розподілом, співвідношенням між органічною і неорганічною фракціями завислих речовин.

В інфрачервоному діапазоні (ІЧ) випромінювальні характеристики водної поверхні залежать, головним від термодинамічних показників поверхневого шару води. Ця залежність визначається функцією Планка і покладена в основу

визначення температури поверхневого шару води методами ІЧ-радіометрії. При цьому необхідно урахувати, що власне випромінювання водного середовища формується у тонкому шарі завтовшки до 0,02 мм, температура якого зазвичай відрізняється від температури глибших шарів. Вплив термодинамічної температури на відбивні властивості водної поверхні значно слабкіший, ніж на випромінювальні властивості. У спектральному діапазоні 3 – 11 мкм максимальний коефіцієнт відбивання спостерігається при температурі 20 °С. Зі зниженням температури (< 20 °С) чи з її підвищенням (>20 °С) спостерігається незначне зменшення відбивної здатності води. При довжині хвилі 10,6 мкм зміна коефіцієнта відбивання помітніша, ніж при довжині 3,39 мкм. Інтенсивність відбитого морською водою ІЧ-випромінювання залежить, головним чином, від наявності і товщини поверхневих плівок та піни. Яскравіший контраст між нафтою і водою в ІЧ-діапазоні вищий. Збільшення альbedo водної поверхні за наявності нафтових плівок впливає на коефіцієнт випромінювання, що дає змогу ідентифікувати поверхневі плівки за даними пасивних методів ІЧ-радіометрії. При цьому, однак, варто враховувати ту обставину, що поверхневі плівки викликають зміну інтенсивності власного випромінювання водного середовища не тільки внаслідок зміни коефіцієнта випромінювання, а й у результаті дії інших механізмів: зміни термодинамічної температури водної поверхні через пригнічення нафтовою плівкою випаровування і зміни ефективного коефіцієнту теплопровідності, гасіння плівкою хвилювання тощо. Аналіз спільної дії перелічених чинників свідчить, що сумарна зміна під впливом нафтової плівки яскравісної температури може бути як позитивною, так і негативною залежно від метеорологічних обставин, товщини нафтової плівки і часу, що минув після виливу нафти. Як правило, домінуючим чинником є ефект підвищення температури поверхневого шару внаслідок пригнічення плівкою випаровування.

В надвисокочастотному діапазоні методами ДЗЗ реєструються параметри ефективної площі розсіювання (ЕПР) і радіояскравісної температури $T_{\text{я}}$ водної поверхні. Ці параметри залежать, в основному, від характеру хвилювання поверхні моря і комплексної діелектричної проникності (ДП) морської води у поверхневому шарі:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{y1} + i\varepsilon_{y2}.$$

Основні чинники, що впливають на ДП води – солоність і температура. Солоність особливо сильно впливає на уявну частину ДП, тому що провідність прямо пропорційна концентрації іонів солей. Врахування залежностей параметрів ε_s , ε_0 , λ_0 від солоності показує, що величина ε_{s2} різко зростає зі збільшенням солоності тільки в довгохвильовій частині спектра, причому це зростання пропорційне солоності і довжині хвилі випромінювання. За $\lambda < \lambda_0$ залежність ε_{s2} від солоності неістотна. У чистій воді ε_{s1} монотонно зменшується зі зменшенням λ , а ε_{s2} має максимум при $\lambda = \lambda_0$. Величина λ_0 зменшується від 4 до 2 см з підвищенням температури від 0 до 20 °С. Крім

розглянутих, на величину ДП водного середовища впливають такі чинники, як поверхневі плівки і пінні утворення. ДП піни обернено пропорційна концентрації повітря. Спектральний хід ДП піни аналогічний спектральному ходу ДП води. Уявна частина ДП збільшується з довжиною хвилі. Випромінювальні і відбивні властивості поверхні моря залежать не тільки від їхніх діелектричних характеристик, а й від інтенсивності і спектру поверхневих хвиль. Таким чином, величина ЕПР і випромінювальна здатність ділянок поверхні моря залежать від чинників, що впливають на хвилювання. Найважливішими з них є швидкість вітру і наявність поверхневих плівок. Зі збільшенням швидкості вітру підсилюється дрібномасштабний компонент хвилювання водної поверхні, що призводить до зростання ЕПР за кутів $\theta > 10^\circ$. Це збільшення яскравіше виражене при $\theta > 30^\circ$. Наявність на водній поверхні нафтової плівки, навпаки, пригнічує дрібномасштабну складову, що викликає зменшення ЕПР за $\theta > 30^\circ$ і його збільшення на квазідзеркальній ділянці. Вплив хвилювання на величину ЕПР більший, ніж діелектричних властивостей водного середовища, тому, наприклад, вплив нафтових плівок на величину сигналу, який реєструється при активній радіолокації, виявляється, насамперед, непрямим шляхом через зміну структури хвилювання.

При розгляді впливу нафтових плівок на радіояскравісну температуру слід урахувати інтерференційні ефекти, що призводять до залежності радіояскравісного контрасту від відношення h/λ (де h – товщина плівки). Максимальний контраст (до 80 К) спостерігається при $h/\lambda \approx 0,15$. Якщо нафтова плівка знаходиться на водній поверхні тривалий час (понад 24 годин), залежність T_y від величини h зменшується внаслідок трансформації плівки у водонафтову емульсію. Збільшення швидкості вітру призводить до підвищення T_y як за рахунок зміни спектра хвилювання, так і за рахунок наростання піни. Зі збільшенням швидкості вітру від 0 до 10 м/с T_y підвищується приблизно на 10 К. Солоність впливає на величину ЕПР і T_y значно слабкіше. Вплив цього параметра істотніший при $\lambda > 30$ см. Збільшення солоності спричинює зменшення ЕПР і збільшення T_y .

Отже, за активного зондування акваторій у НВЧ-діапазоні на величину реєстрованого сигналу, в основному, впливають чинники, пов'язані зі зміною хвилювання водної поверхні – швидкість вітру, наявність поверхневих плівок, топографія дна. Крім того, значно меншим виявляється вплив солоності і температури. Вплив солоності більш істотний у довгохвильовій частині спектру. У разі пасивного НВЧ- зондування на радіояскравісну температуру найбільше впливають термодинамічна температура, солоність, поверхневі плівки, причому величина T_y залежить від товщини плівок, якщо вони не перейшли в емульгований стан.

2.4 Концептуальний зміст тематичних задач космічного моніторингу Чорного моря

Прибережні екосистеми особливо уразливі до впливу різних антропогенних і природних чинників. Планування, прийняття і контроль заходів по раціональному управлінні стійким розвитком прибережних зональних систем і водних акваторій дуже важливо мати високоорганізовану, скоординовану, багаторівневу інформацію про соціально-економічні, екологічні, природні процеси, що в них протікають. Досягнення у області освоєння космічного простору дає можливість і необхідність моніторингу системи суша – океан – атмосфера, який включає спостереження за станом навколишнього середовища з використанням космічних засобів, оцінки і прогноз змін їх стану під впливом природних і антропогенних чинників [11].

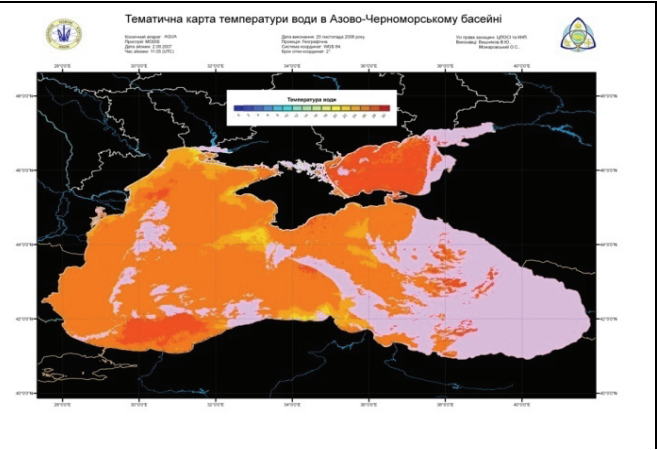
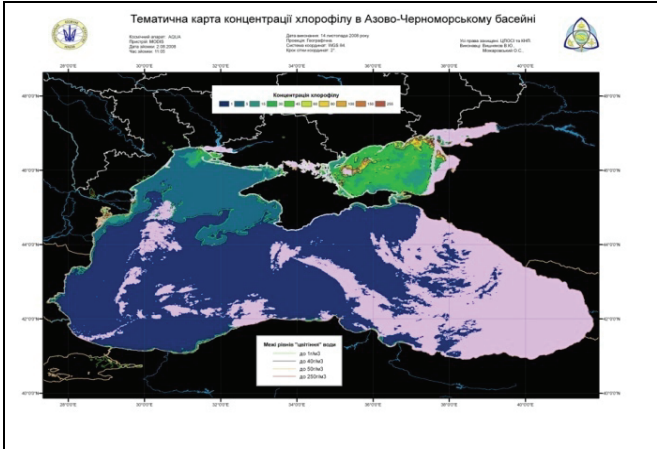
Дистанційне зондування Землі з космосу (ДЗЗ) надає унікальну можливість отримання даних про об'єкти і явища в глобальному масштабі з високим просторовим і часовим дозволом. Космічні зйомки Землі несуть інформацію про фізичні, хімічні, біологічні, геометричні параметри об'єктів спостереження в різних середовищах Землі з використанням, як правило, функціональних залежностей між їх випромінювальною здатністю і визначеними параметрами.

За останній час досягнуті значні успіхи у області розвитку аерокосмічних методів і технологій дистанційного зондування водних акваторій. Перспективність їх використання для вирішення завдань екологічного моніторингу морських акваторій основана на можливості реєстрації сучасною дистанційною апаратурою широкого спектру значущих параметрів водного середовища. До таких параметрів відносяться, перш за все:

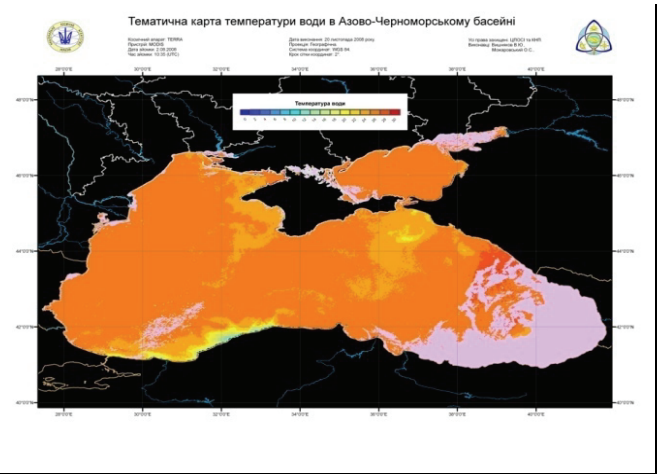
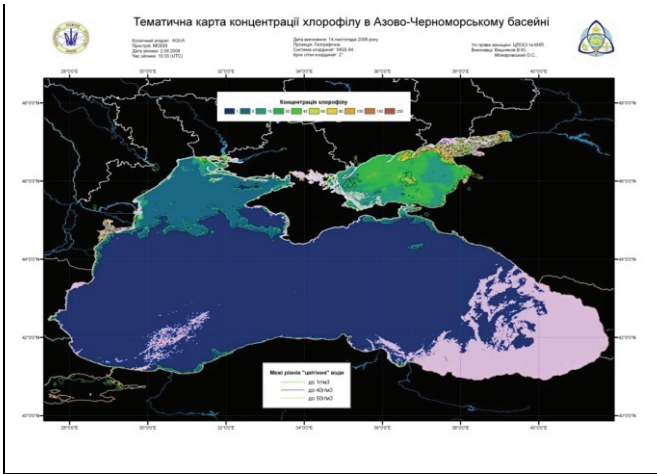
- гідрооптичні - варіації яких обумовлені флуктуаціями коефіцієнтів розсіяння і поглинання світла при змінах концентрації в товщі води зважених і поглинаючих речовин теригенного і біологічного походжень, або наявністю поверхневих плівок, обумовлених, наприклад, нафтопродуктами;
- температурні - в областях полів течій, апвелінгу, взаємодії турбулентності і внутрішніх хвиль з водною поверхнею тощо;
- гідроелектричні - солоність.

Для прикладу, на рис.2.1 наведені відновлені в Центрі прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля НАНУ статистичні дані просторового розподілу концентрації хлорофілу і температури водної поверхні в Чорному і Азовському морях. При цьому були використані знімки багатоспектральної апаратури MODIS (розрізнення 250 м – у оптичному і ближньому ІЧ - діапазоні, 500 м – в середньому і 1 км – в дальньому ІЧ- діапазонах) із супутників TERRA і AQUA

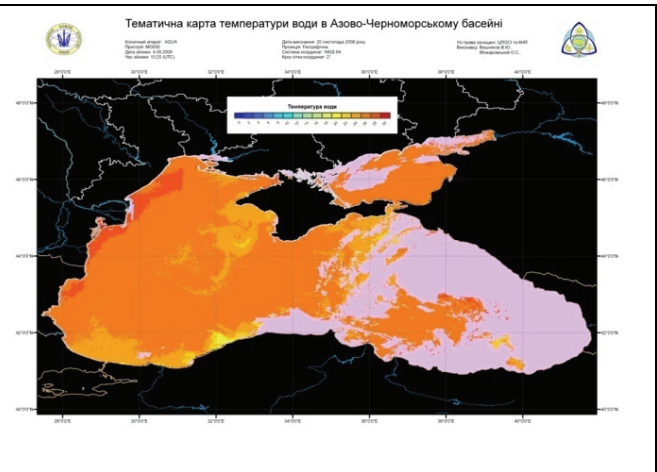
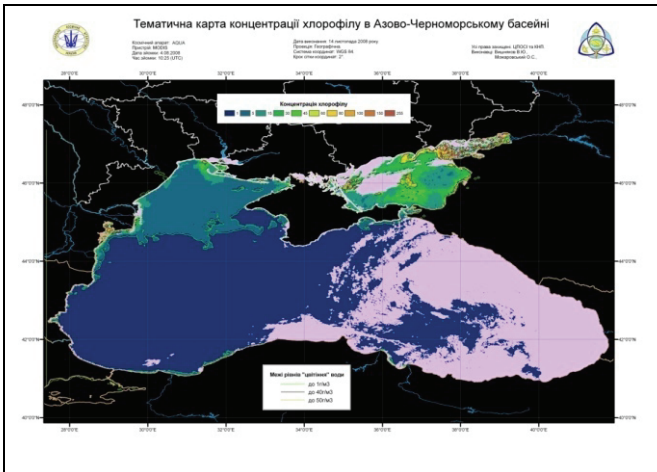
У ряді випадків на космічних знімках можна візуально ідентифікувати наявність у товщі води зважених і поглинаючих речовин теригенного походження - рис. 2.2, або плівок нафтопродуктів – рис 2.3.



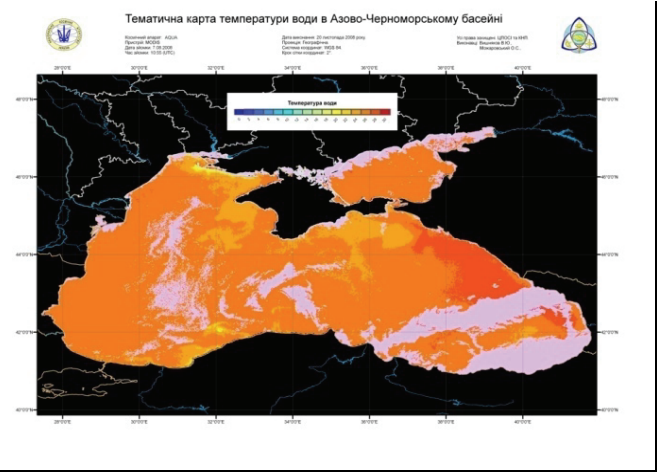
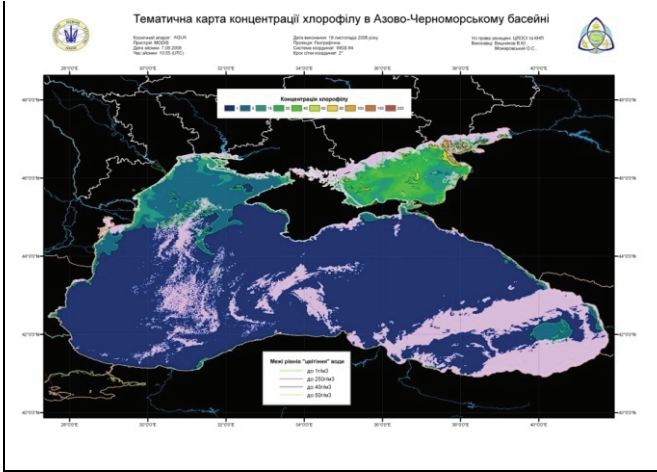
а) 2.08. 2007 11:05



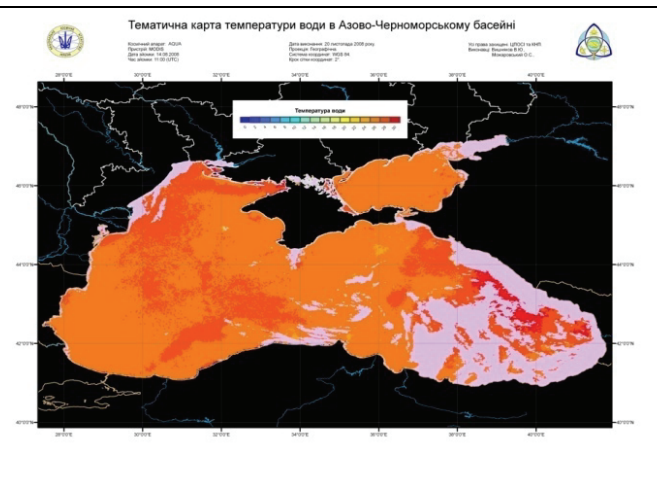
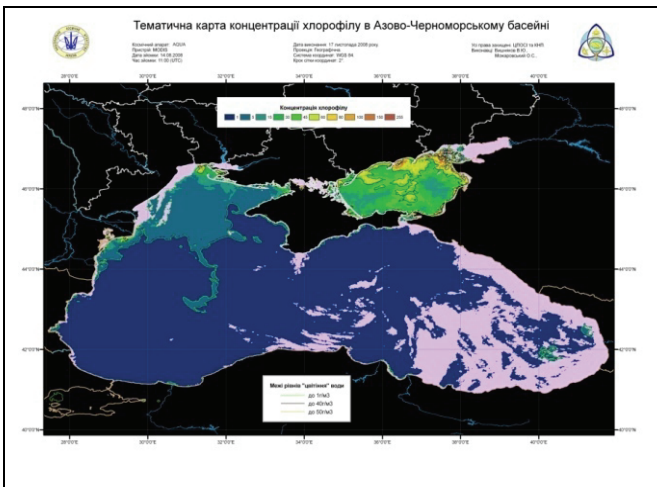
б) 2.08. 2008 10:35



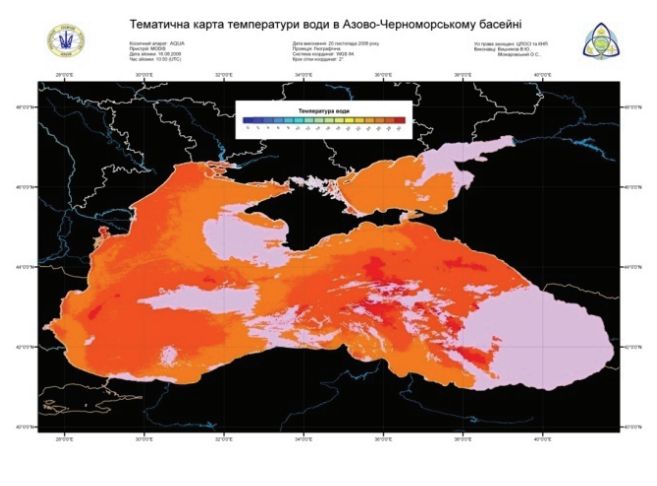
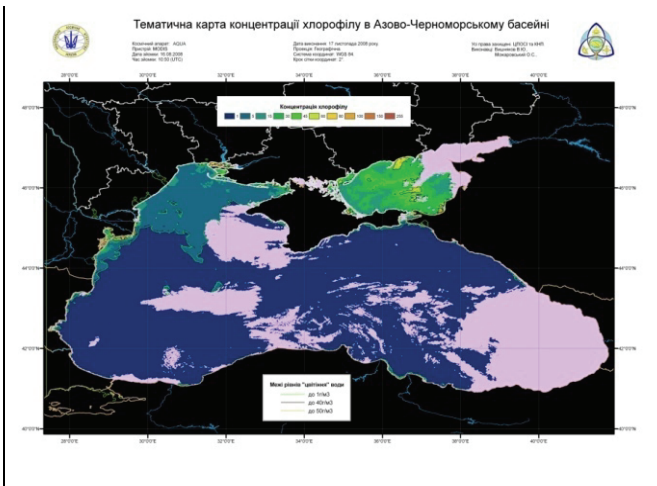
в) 4.08. 2008 10:25



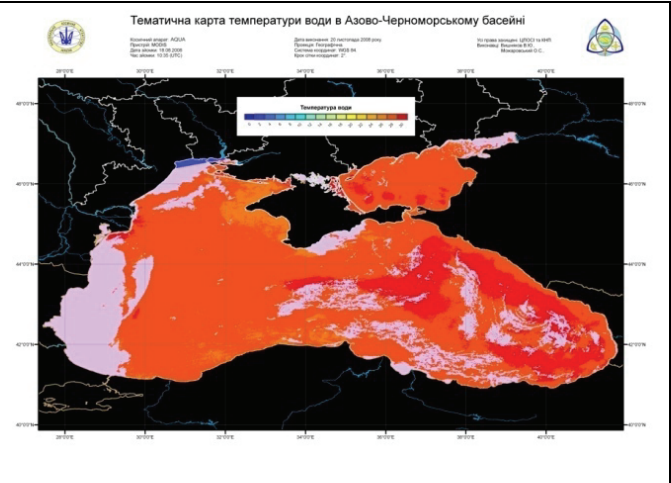
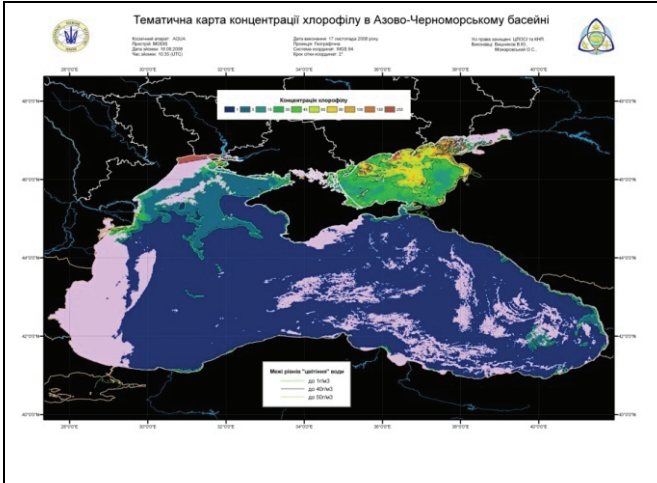
г) 7.08. 2008 10:55



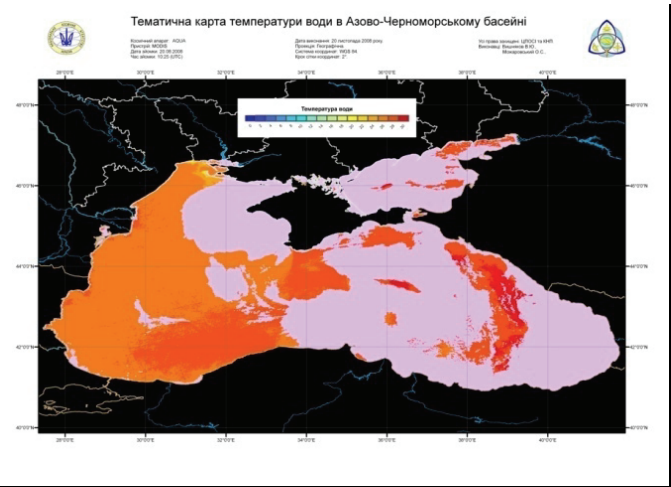
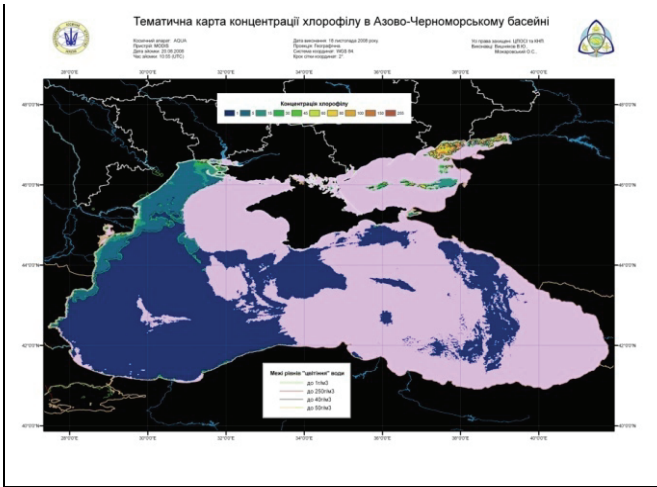
д) 14.08. 2008 11:00



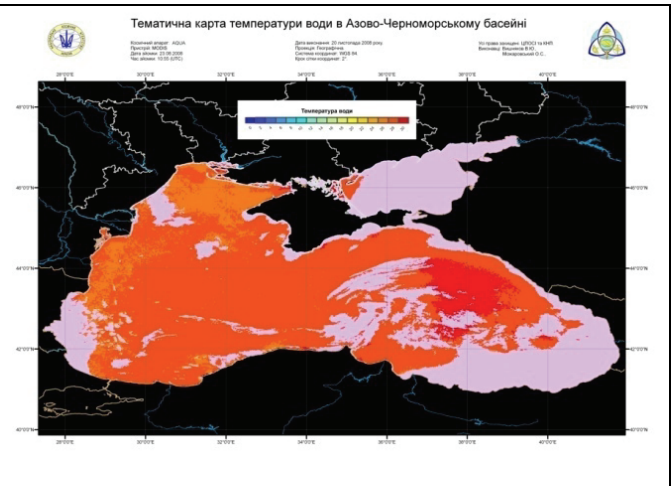
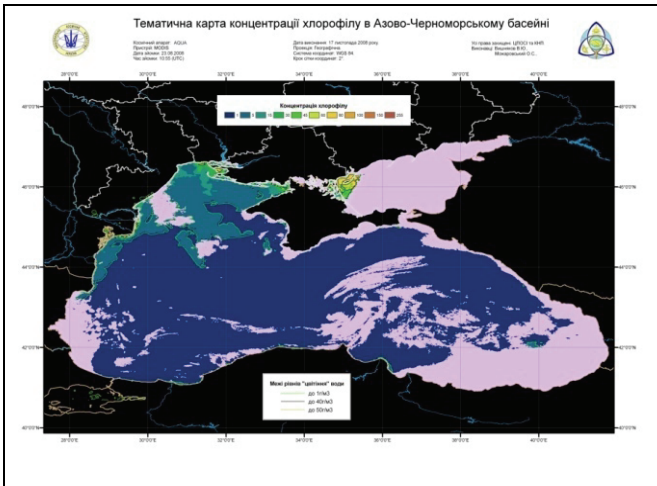
е) 16.08. 2008 10:50



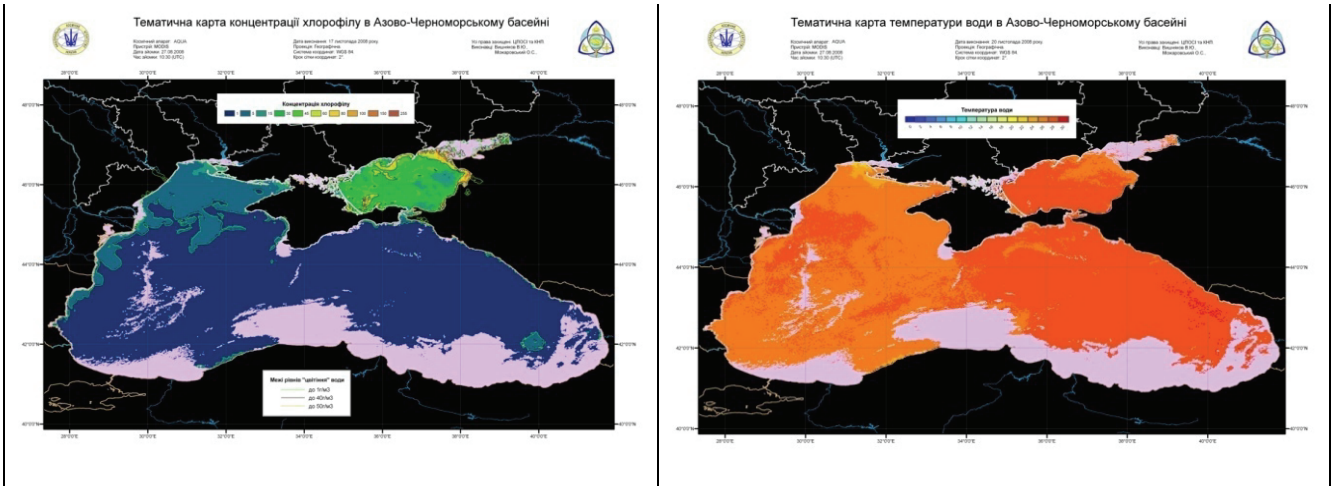
ж) 18.08. 2008 10:35



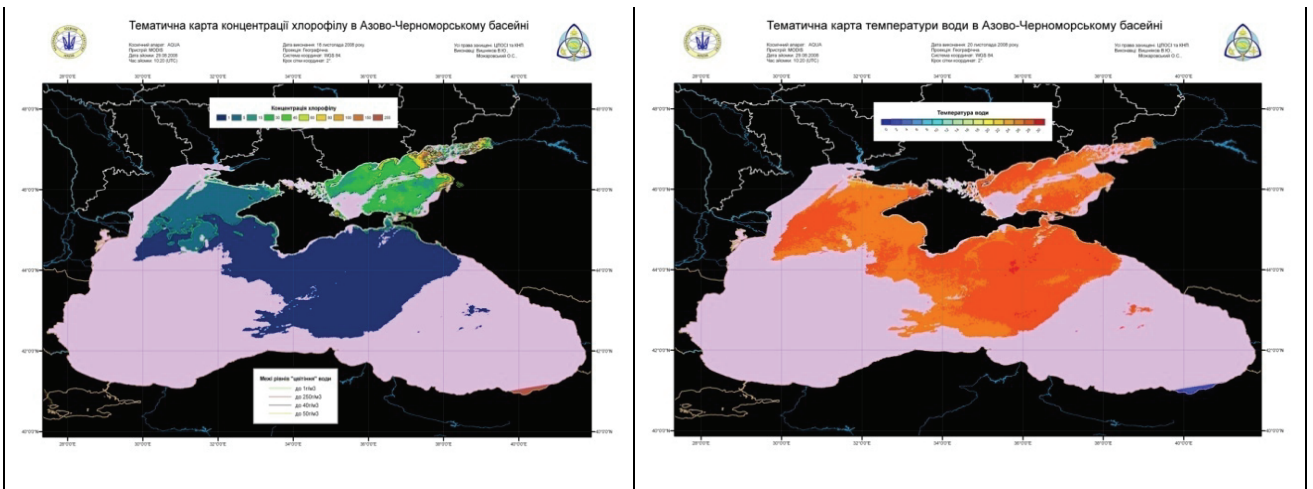
з) 20.08. 2008 10:55



к) 23.08. 2008 10:55



л) 27.08. 2008 10:30



м) 28.08. 2008 10:20

Рис. 2.1- Статистичні дані просторового розподілу концентрації хлорофілу – зліва і температури водної поверхні - справа

Багаторічний вітчизняний і світовий досвід практичного використання технологій космічного моніторингу морських акваторій свідчить, що отримана ними інформація може суттєво підвищити ефективність практичного вирішення наступних задач:

- вивчення рельєфу мілководних зон і топографії морської поверхні;
- оцінок швидкості морських течій і уздовж - берегових переносів;
- вимірів температури поверхні моря;
- визначення висоти й напрямку хвиль;
- вимірів рівня моря;
- вимірів солоності морських вод;
- оцінок екологічного стану ділянок узбережжя моря в місцях розміщення промислових об'єктів;
- виявлення ділянок забруднення морських вод мінеральними суспензіями (аварійних скидів і розливів забруднюючих речовин), визначення локалізації джерел забруднення й прогноз поширення забруднюючих речовин по акваторії;

- ідентифікації забруднення моря нафтопродуктами;
- відновлення просторово – часового розподілу фітопланктону;
- виявлення несанкціонованої забудови в водоохоронній зоні моря і гирлових ділянок річок.

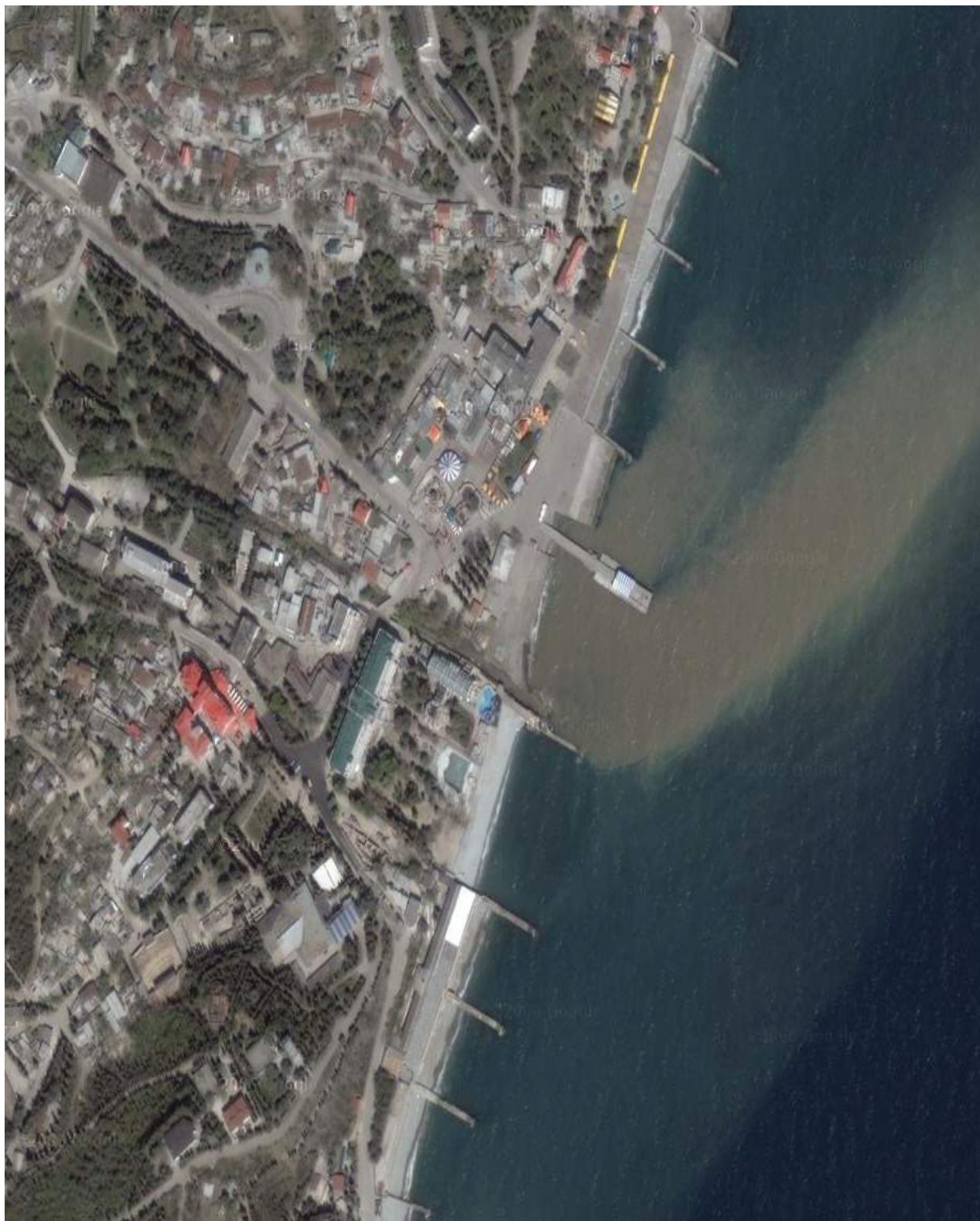


Рис. 2.2 - Шлейф виносу річкового і поверхневого стоку в м. Алушта

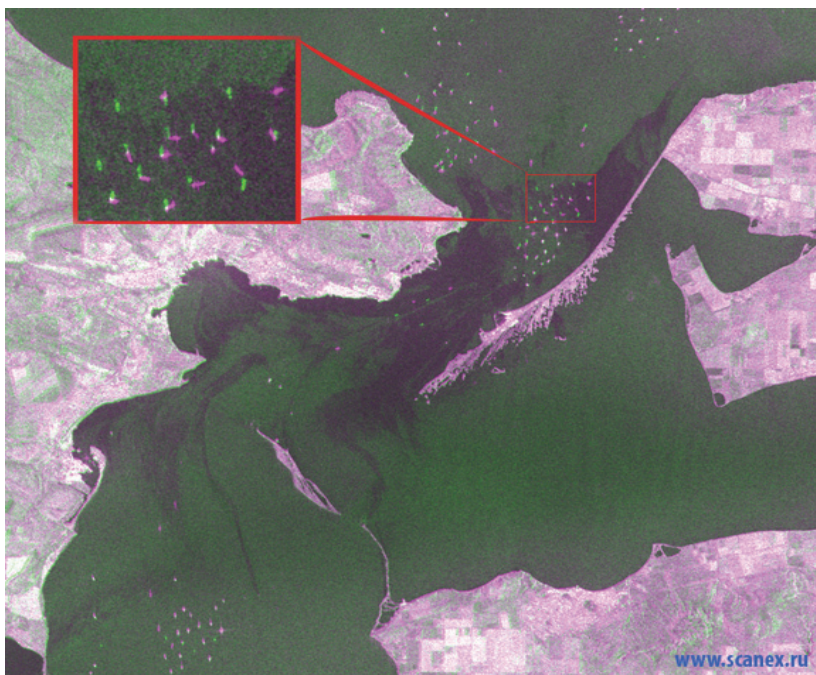


Рис. 2.3 - Нафтові плівки на поверхні моря

Практична реалізація цих задач у повному обсязі може забезпечити потреби суб'єктів державного моніторингу і господарської діяльності в межах внутрішніх морських вод, територіального моря, континентального шельфу і виключної (морської) економічної зони України на Чорному морі в об'єктивній, достовірній і своєчасній інформації, яка необхідна для обґрунтування і прийняття рішень з питань контролю і планування заходів:

- використання й охорони морського середовища і природних ресурсів внутрішніх морських вод, територіального моря, континентального шельфу і виключної (морської) економічної зони України за умов дотримання норм екологічної безпеки;

- дотримання установлених лімітів використання природних ресурсів, нормативів викидів і скидів забруднюючих речовин безпосередньо у внутрішнє, територіальне море, континентальний шельф і виключну (морську) економічну зону України;

- дотримання екологічних вимог у процесі зберігання, транспортування, використання, знешкодження та поховання (складування) пестицидів і агрохімікатів, токсичних та радіоактивних речовин, виробничих, побутових та інших видів відходів, продуктів біотехнології;

- розміщення, будівництва, реконструкції, введення в дію підприємств, споруд та інших об'єктів;

- зберігання, транспортування, перевантаження, знешкодження та захоплення пестицидів і агрохімікатів, токсичних та радіоактивних речовин, виробничих, побутових та інших видів відходів, продуктів біотехнології;

- використання, вивчення та охорони надр і добування корисних копалин;

- використання морських вод та охорони їх від виснаження, засмічення і забруднення промисловими, побутовими, баластними та іншими стічними і

дренажними водами та скидами, проведення різних видів робіт на водних і водогосподарських об'єктах і в прибережних водоохоронних зонах;

- використання природних ресурсів, охорони та відтворення біо-ресурсів в межах внутрішніх морських вод, територіального моря, континентального шельфу і морської економічної зони України;

- виконання вантажно-розвантажувальних робіт;

- використання та охорони прибережних територій і об'єктів природно-заповідного фонду, виконання заходів щодо скорочення і регулювання викидів, скидів забруднювальних речовин у навколишнє природне середовище і ліквідації їх наслідків;

- встановлення та виконання лімітів (квот) використання і добування всіх видів природних ресурсів;

- додержання вимог екологічної безпеки в процесі проведення наукових, науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, при виконанні бурових, вибухових, днопоглиблювальних, розвідувальних робіт, добуванні корисних копалин, водних рослин і тварин, рибних ресурсів, прокладанні комунікацій та інших видах робіт, а також застосуванні нової техніки, імпортного устаткування, технологій і систем;

- попередження забруднення внутрішніх морських вод, територіального моря, виключної (морської) економічної зони України, континентального шельфу України, загибелі риб та інших водних тварин і рослин.

У багатьох випадках тематичним дешифруванням космічних знімків можна отримати конструктивну інформацію:

- для обчислення розмірів відшкодування збитків, завданих унаслідок фактів порушення чинного природоохоронного законодавства;

- для підготовки пропозицій щодо ліквідації негативного впливу фактів порушення чинного природоохоронного законодавства на навколишнє природне середовище;

- для спостереження за переміщенням у морі осередків забруднення, контролю ходу робіт з ліквідації цих осередків та ліквідації наслідків забруднення відповідними службами і підрозділами;

- для ефективного здійснення повноважень з питань використання природних ресурсів моря, зокрема при проведенні державної екологічної експертизи документації на виконання робіт у портах і на судноремонтних заводах, у тому числі днопоглиблювальних робіт, захоронення або складування промислових, побутових та інших відходів.

2.5 Інформаційні ресурси космічного моніторингу Чорного моря

Аналіз змісту основних тематичних задач космічного моніторингу Чорного моря дає підстави для висновку, що для їх вирішення достатньо залучати знімки з наступних супутників: NOAA, LANDSAT, SPOT, IKONOS, QUIK BIRD, EROS, ASTER, IRS, RADARSAT, Метеор-3М, РЕСУРС-О. Їх технічні і характеристики, а також адреси сайтів, з яких їх можна отримати, наведені в наступному розділі.

Сучасна концепція практичної реалізації методів космічного моніторингу морських акваторій, підлеглих впливу на їх ділянки об'єктів

прибережної смуги, річкового стоку, суб'єктів господарської діяльності в територіальних водах і виключній морській економічній зоні, морського транспорту і т. і. базується на використанні не тільки, власне, космічних знімків, а і технологій геоінформаційних систем (ГІС). Останні забезпечують топографічну прив'язку не тільки космічних знімків, а і картографічних моделей, отриманих їх тематичним дешифруванням.

Для цього залучаються інструменти ГІС. З аналізу основних функціональних і вартісних характеристик найбільш відомих і поширених ГІС (Map Info, Arc Info, Geo Draw, Панорама, ArcGIS та інших) [14], витікає, що найбільш доцільно систему космічного моніторингу Чорного моря базувати на ГІС – платформі ArcGIS і топографічній основі – векторною топографічною картою прибережних територій і векторною картою глибин Чорного моря.

В реальній ГІС космічного моніторингу Чорного моря, створеною авторами цієї монографії, в якості топографічної основи прибережних територій використані відповідні карти Одеської, Миколаївської, Херсонської областей і Кримської АР, розроблені на замовлення МНС України в М 1:200 000.

Векторна карта глибин Чорного моря розроблена згідно технології, наданій у четвертому розділі.

Тематична обробка космічних знімків морських акваторій, як правило, зводиться до вирішення задачі сегментації зображення - виділення зв'язаних підмножин його елементів з порівняно однорідними значеннями термічних, оптичних або електричних характеристик морських вод. Вирішення цієї задачі можна вирішити інструментами програмного комплексу ERDAS IMAGINE [14].

Авторським колективом цієї монографії розроблений програмний комплекс тематичної обробки космічних знімків морських акваторій, оснований на концепції картографування плямистості зображень морських акваторій. Мається на увазі, що плямистість обумовлена варіаціями гідрооптичних, гідроелектричних або гідробіологічних показників. Теоретичні засади і структура цього комплексу наведені у п'ятому розділі. При ідентифікації плямистості по даних космічного моніторингу враховувалися інформаційні особливості спектрального діапазону зйомок.

Таблиця 2.1 - Об'єми скидів стічних вод (Миколаївська область)

Назва водокористувача забруднювача	2005 р.		2006 р.		2007 р.	
	об'єм скидання зворотних вод, млн. м³	обсяг забруднюючих речовин, т	об'єм скидання зворотних вод, млн. м³	обсяг забруднюючих речовин, т	об'єм скидання зворотних вод, млн. м³	обсяг забруднюючих речовин, т
Бузький лиман						
МКП «Миколаївводоканал»	35,73	39140,143	30,15	30907,043	29,108	29888,54
ДАХК «ЧСЗ»	0,184	35,93	0,134	22,1	0,0798	35,9
ТОВ СП «Нібулон»	0,003	1,7	0,003	1,4	0,003	1,301
Чорне море						
БГКП «Сирена»	0,251	162,2	0,255	120,64	0,206	60,43

Таблиця 2.2 - Середньорічні концентрації речовин в контрольних створах водних об’єктів регіону за 2006 рік,
в одиницях кратності відповідних ГДК
(Миколаївська область)

Місце спостереження за якістю води	Показники складу та властивостей																			
	БСК ₅ , мг/дм ³	Завислі речовини, мг/дм ³	Амоній соловий, мг/дм ³	Нітри,и, мг/дм ³	Нітрати, мг/дм ³	Сухий залишок, мг/дм ³	Хлориди, мг/дм ³	Сульфати, мг/дм ³	Нафтопродукти, мг/дм ³	АІПАР, мг/дм ³	Залізо загальне, мг/дм ³	Мідь, мг/дм ³	Цинк, мг/дм ³	Хром загальний, мг/дм ³	Нікель, мг/дм ³	Марганець, мг/дм ³	Алюміній, мг/дм ³	Кальцій, мг/дм ³	Магній, мг/дм ³	Фосфати, мг/дм ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Бузький лиман, м. Миколаїв (нижче скиду т/о вод ВАТ "Дамен Шіпярдс Океан")	1,3		0,4	0,4	0,0	5,8	7,8	4,7	2,3	3,3	2,2	0,2	1,9	0,0	0,0	0,0		0,6	5,0	2,4
Бузький лиман, м. Миколаїв (акваторія напроти ВАТ "Дамен Шіпярдс Океан")	1,5		0,3	0,4	0,0	5,7	7,9	4,4	1,7	1,1	2,8	0,1	2,5	0,0	0,0	0,0		0,6	4,9	2,2
Дніпро-Бузький лиман, м. Очаків (в межі міста, акваторія морського порту)	1,6		1,0	0,1	0,0	3,6	4,5	2,7	1,5	2,3	3,9	0,2	14	0,0	0,0	0,0		0,5	3,9	0,4

Був проведений аналіз відомих методів обробки зображень, оснований на роботі з гістограмами яскравості, низькочастотними та високочастотними фільтрами, текстурними ознаками, та запропонований алгоритм обробки знімків з урахуванням роздільності та параметрів інформативності спектрального діапазону. Для подальшої ідентифікації окремих кластерів була розроблена предметно орієнтована база знань. Кластери векторізуються з урахуванням їх метричних характеристик та зберігаються, згідно стандартів ГІС, у вигляді векторних шарів.

До екологічної інтерпретації картографічних моделей, отриманих тематичним дешифруванням космічних знімків, залучаються з визначеною глибиною ретроспективи результати Державного моніторингу поверхневих вод, звітності водокористувачів, топографічні параметри джерел забруднення моря тощо. Приклади структур атрибутивної інформації для формування відповідних баз даних наведені в таб. 2.1, 2.2.

РОЗДІЛ 3

СТРУКТУРА ФОНДУ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ ЧОРНОГО МОРЯ

3.1 Джерела одержання космічних знімків

Технології космічного моніторингу територіальних вод і виключної морської економічної зони України на Чорному морі базуються на використанні оперативних і архівних даних ДЗЗ повної лінійки розрізнення і широкого діапазону значень показника оперативності. Доступ до них забезпечується існуючою в Україні інфраструктурою прийому і передачі користувачам космічних знімків, а також засобами Internet із міжнародних серверів космічних знімків Землі.

В Україні прийом даних ДЗЗ від закордонних КА NOAA, TERRA здійснюють в Центрах прийому космічної інформації Національного космічного агентства. Отримані там знімки, у відповідності до визначених вимог, можна замовити в Державному науково-виробничому центрі «Природа», підпорядкованому НКАУ – НАНУ. Умови надання знімків і форми замовлень знімків розташовані за адресою <http://www.pryroda.gov.ua>.

З залученням технологій Internet зручно отримувати необхідні космічні знімки з сайту компанії DigitalGlobe, засобами якого забезпечується сумісність своєї продукції з програмним забезпеченням найбільш відомих компаній, розробників програмних засобів обробки космічних знімків. Їх адреси в Internet:

BAE System	www.talisin.com
ERDAS	www.erdas.com
ER Mapper (Earth Resource Mapping)	www.ermapper.com
ImageLinks	www.imagelinks.com
Northrop Grumman PRB System	www.prb.net
PCI Geomatics	www.pcigeomatics.com
Reseach System	www.reserchsystem.com
Sensor System	www.sensor.com
Z/I Imaging	www.ziimaging.com
Cardio Logic	www.cardiofx.com
DAT/EM	www.datem.com
Supersoft	www.supersoft.com

Попередні дослідження засвідчили, що підвищити ефективність державного моніторингу територіальних вод і виключної морської економічної зони України на Чорному морі можна за рахунок тематичної обробки космічних знімків з наступних супутників:

METEOSAT – європейський геостационарний супутник. На сервері <http://www.nottingham.ac.uk/pub/sat-images/> представлені нові і архівні зображення з нього. Найновіші знімки знаходяться на цьому сервері за адресою: <http://www.nottingham.ac.uk/meteosat/graphif.shtml/shtml>.

GMS – японський геостационарний супутник, дані по спектральних діапазонах у глобальному (півкуля) або регіональному масштабі архівуються за останні декілька днів за адресою: <ftp://rsd.gsfc.nasa.gov/pub/Weather/GMS-5/gif/mapped/>.

Геоінформація від геостационарних супутників має глобальне охоплення, високе часове оновлення, але дуже низьке просторове розрізнення. Знімки розповсюджуються безкоштовно. Основне джерело необроблених даних AVHRR – інтерактивний супутниковий архів NOAA – <http://www.saa.noaa.gov>. Архів дозволяє вводити тимчасові і просторові критерії, тип знімальної апаратури (AVHRR – тільки один з доступних типів знімків у цьому архіві, він, у свою чергу, підрозділяється на дані від кожного окремого супутника, що ідентифікується номером, наприклад, NOAA 9, NOAA 14). Крім глобального архіву NOAA, дані AVHRR архівуються і розповсюджуються регіональними станціями прийому, наприклад, на території Росії діє мережа регіональних станцій прийому. Географію їх розміщення можна подивитися за адресою: <http://www.scanex.ru/rus/stations/scanex.htm>. Зразки знімків і похідних карт наведені за адресою: http://sputnik.infospace.ru/noaa/rus_win/noaa.htm.

Численні та актуальні дані AVHRR (з 1981 року по теперішній час) з розрізненням 8 км доступні для отримання з мережі Internet згідно протоколу передачі файлів (ftp) Goddard Space Flight Centre в США. Вони організовані по континентах і по роках, наприклад:

<ftp://daac.gsfc.nasa.gov/data/avhrr/continent/europe/yearly/>;

<ftp://daac.gsfc.nasa.gov/data/avhrr/continent/asia/yearly/> і т.д.

Супутники SeaStar і TERRA (сканери SeaWIFS, MODIS, MISR):

SeaWIFS (американський супутник SeaStar) – це сканер низького просторового розрізнення (1100 м) з 8 спектральними зонами в діапазоні 0.402–0.885 мкм. Його дані можна одержувати безкоштовно (для дослідницької та освітньої мети) із затримкою близько двох тижнів з моменту зйомки, ставши авторизованим користувачем NASA (що безкоштовно і вимагає тільки посилки короткого наукового проекту), деталі наведені за адресою:

<http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS/LICENSE/checklist.html>.

Інформація про супутник і архів знаходиться за адресою:

<http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS/BACKGROUND/>.

Умови безкоштовного отримання даних можна одержати з сайту:

http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS/ANNOUNCEMENTS/getting_data.html.

Сканер MODIS (американський супутник TERRA) має просторове розрізнення від 250 до 1000 м у 36 спектральних каналах і його дані безкоштовні. Фактично MODIS є наступним поколінням сканерів AVHRR, вдосконаленим по всіх напрямках. Їх можна знайти на сайті: <http://www.scanex.ru/rus/stations/eoscan.htm>. Адреса зразків знімків – <http://www.scanex.ru/rus/gallery/gallery.htm>, а глобального каталогу – <http://modis-250m.nascom.nasa.gov/getdata/browsenew/index.asp>.

Дані доступні і через універсальний каталог EOS Data Gateway: <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>.

Сканер MISR (Multiangle Imaging SpectroRadiometer) на супутнику TERRA забезпечує зйомку під дев'ятьма кутами одночасно і, таким чином, повно описує відбивні характеристики об'єктів земної поверхні. Опис інструменту наведений за адресою <http://www-misir.jpl.nasa.gov/>, а знімки – за адресою <http://eosweb.larc.nasa.gov>.

Геоінформація від супутників SeaStar і TERRA на полярних орбітах (сканери SeaWIFS, MODIS, MISR) має середнє і низьке розрізнення, середнє охоплення. Знімки розповсюджуються безкоштовно.

Супутники середнього просторового розрізнення Landsat TM і ETM+:

Сканери MSS (Multispectral Scanner) і TM (Thematic Mapper) на американських супутниках Landsat забезпечують популярний масив багаторічних цифрових космічних зйомок. Супутники Landsat працюють на полярних сонячно-синхронних орбітах, частота повторної зйомки на екваторі 16–18 днів (залежно від супутника). Дані MSS (розрізнення 80 м, 4 широких спектральних зони у діапазоні 0.5–1.1 мкм), дані TM (розрізнення 30 м у оптичному, ближньому і середньому інфрачервоному діапазоні, 120 м в тепловому діапазоні, сім спектральних зон в діапазоні 0.45–12 мкм). Смуга огляду для обох сканерів – близько 185 км. Зараз в активному режимі знаходяться КА Landsat-5 (1984 р.) та Landsat-7 (1999 р.). Інформацію можливо отримати на сайті <http://glovis.usgs.gov/>.

Космічна система SPOT (Systeme Probatoire d'Observation de la Terre) має дві оптико-електронні камери HRV (High Resolution Visible). Геометрична роздільна здатність даних Spot при панхроматичному зніманні складає 10 м, при багатозональному – 20 м. Крім високої роздільної здатності цих знімків, є можливість отримання стереопар (за два вітки), які використовуються при виконанні робіт з інформацією про рельєф. На космічному апараті Spot-4 встановлено покращений багатоспектральний радіометр HRVIR (High Resolution Visible InfraRed), в якому замість панхроматичного діапазону використовується середній інфрачервоний діапазон, а також є можливість використання одночасно двох камер. На космічному апараті Spot-5 встановлена оптико-електронна система HRG (High Resolution Geometrique) та оптико-електронна стереосистема HRS (High Resolution Stereo).

Запуск космічного апарату *QuickBird* було здійснено у 2001 р. Компанія DigitalGlobe регулярно одержує зі супутника кольорові зображення земної поверхні з роздільною здатністю 0,61 м (панхроматичного) и 2,44 м (багатоспектрального кольорового) зображення. Спектральні діапазони 450 – 900 нм. За один прохід супутник може зняти полосу до 250 км. Адреса сайту <http://www.digitalglobe.com/>.

Значна кількість завдань управління охороною і раціональним використанням природних ресурсів українського сектору Чорного моря вимагає використання знімків із розрізненням приблизно 1 м, наприклад, із супутників ICONOS, QuickBird та їх аналогів. Такі знімки можна отримати згідно попереднього замовлення на зйомку, виконання якої, як свідчить

досвід, залежить від безлічі обставин, на які неможливо впливати. Другий, більш конструктивний шлях, скористатися архівами цих знімків в Internet за адресою www.maps.google.com.

3.2 Фонд космічних знімків

Для реалізації основних завдань моніторингу українського сектору Чорного моря створено фонд космічних знімків з оптимальними характеристиками розрізнення, оперативності і глибини ретроспективи. В структурі фонду розрізняють – каталог, картограму і, власне, космічні знімки з анотацією на дисках DVD. Каталог містить інформацію про наявність знімків у фонді (табл.3.1), станом на визначену дату.

Таблиця 3.1–Склад фонду космічних знімків Чорного моря станом на 01.10.2010

Космічний апарат	Кількість знімків прибережних вод Чорного моря
NOAA	144
TERRA	124
SPOT	38
LANDSAT	54
QuickBird	28

Просторове розрізнення космічних знімків, зібраних у фонді, обумовлено вимогами до детальності при рішенні задач вивчення поверхневих вод та картографування їх стану.

Знімки с метеорологічних супутників на навколоземних орбітах з розрізненням 1 км (AVHRR/NOAA), задовольняють вимогам аналізу льодової обстановки у морях; розподілення снігового покриву и його сезонної динаміки у прибережної зоні, розподілу фітопланктону.

Знімки кілометрового розрізнення з метеосупутників використовуються для оглядових досліджень поверхневих вод. Перехід до більш детальних знімків середнього розрізнення (250 м) з супутників TERRA дозволяє вирішувати такі же задачі з більшою детальністю.

Значна кількість задач дослідження поверхневих вод вирішується при використанні знімків розрізнення 10–100 м супутників Landsat, SPOT. Це задачі дослідження господарської діяльності, насамперед забруднення природних вод, розповсюдження стічних вод.

Задачі детального дослідження акваторій вирішуються при переході до розрізнення краще за 1 м при зйомці зі супутника QuickBird.

Зйомки виконуються, переважно, в гамма-діапазоні, ближньому ультрафіолетовому (УФ), видимому, мікрохвильовому, ближньому інфрачервоному (ІЧ) і тепловому діапазонах.

Вимірювальні фізичні параметри такі: радіаційна температура, енергетичні спектри відбивання, спектри коефіцієнтів спектральної

яскравості (КСЯ), інтенсивність і спектри гамма-випромінювання, характеристики вологості, інтенсивності зворотного розсіювання у мікрохвильовому діапазоні та ін.

Визначення енергетичних параметрів поля випромінювання у різноманітних діапазонах спектра електромагнітних коливань – основа розглянутих нижче інформаційних ознак для контролю екологічних умов природного середовища:

1. Гамма-випромінювання супроводжує, як правило, всі радіоактивні елементи та ізотопи природного і штучного походження. Воно характеризується значним радіусом поширення в атмосфері й може бути зафіксовано як в інтегральному вигляді, так і за спектром енергії окремих гамма-квантів, які несуть інформацію про наявність і кількість конкретних радіоактивних ізотопів.

2. Ультрафіолетовий діапазон можна використовувати для визначення поширення аерозолів, малих газових домішок і озону в атмосфері, а також для оцінювання стану водойм. З цією метою можна реєструвати різноманітні типи випромінювань від об'єктів, включаючи флуоресценцію, спричинену лазерним опроміненням цих об'єктів в ультрафіолетовому діапазоні. Ці факти зумовлені взаємодією світла із утвореннями, забрудненими тими чи іншими токсикантами.

3. Оптичний діапазон широко використовують для виконання як звичайних чорно-білих, кольорових, спектрально-аерокосмічних фотозйомок, так і спеціальних мультиспектральних сканерних прецизійних зйомок. Механізм формування корисного для екологічних зйомок сигналу полягає в тому, що під дією різних токсикантів спостерігається зміна спектральних характеристик. Спектрометричні дистанційні виміри цих параметрів несуть інформацію про стан вод. У видимому і ближньому ІЧ-діапазонах (за достатнього спектрального і просторового розрізнення) ідентифікуються пігменти у водах морів і внутрішніх водойм, склад атмосферних аерозолів, ступінь зернистості і забруднення снігового покриву.

4. Інфрачервоний (тепловий) діапазон несе інформацію про теплове поле природно-техногенних систем, виражену в особливостях амплітудної і частотно-амплітудної характеристик випромінювання в ІЧ-діапазоні. Механізм формування сигналів, корисних для екологічних цілей у цьому діапазоні, може ґрунтуватись на інформації, зумовленій:

- наявністю теплових джерел (забруднення акваторій, прориви рідини або газу з підводних трубопроводів тощо);
- специфікою ІЧ-спектрів атмосферних газів, хімічних сполук, що дає змогу по цих спектрах визначати концентрації основних і малих газових компонентів атмосфери.

5. Мікрохвильовий і метровий діапазони несуть інформацію про топографічні характеристики територій і акваторій (радарна зйомка), засоленість водойм і ґрунтових розчинів, забруднення водних поверхонь нафтопродуктами, льодові обстановки (пасивна і активна зйомки

інтенсивності власного і відбитого радіовипромінювання природних і техногенних об'єктів).

Повну картину екологічного стану визначених ділянок морських акваторій може дати застосування всієї сукупності дистанційних зйомок в перелічених діапазонах.

Для наочного представлення наявності інформації та пошуку матеріалів космічної зйомки у архіві складаються картограми. Картограми відображають карту з накладеними на неї прямокутниками – кадрами та стрічками зйомки, окремо для кожного виду знімків.

3.2.1. Фонд знімків NOAA

До складу апаратури космічної системи NOAA входять багатоспектральний скануючий радіометр AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), блоки мікрохвильового зондування MSU, AVSU–A, AVSU–B та прилад зондування високого розрізнення HIRS/3. Їх основні характеристики приведені в табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристика оптико–електронних систем NOAA

Прилад	Спектральний діапазон	Розрізненість (км)	Полоса знімання (км)	Період повторної зйомки
AVHRR	0.58 – 0.68 мкм 0.725 – 1.1 мкм 3.55 –3.93 мкм 10.3 – 11.3 мкм 11.4 – 12.4 мкм	1.1	3000	6 за добу
MSU	50,30 ГГц 53,74 ГГц 54,96 ГГц 67,95 ГГц	115,0	2348	6 за добу
AVSU–A	23,8 ГГц 31,4 ГГц 50,3 – 57,3 ГГц (12 каналов) 89 ГГц	50,0	2054	6 за добу
AVSU–B	89 ГГц 150 ГГц Три канала близько 183 ГГц	50,0	2054	6 за добу
HIRS/3	0.69 мкм 3.76 – 4.57 мкм 6.7.2 – 14.95	20,0	2240	6 за добу

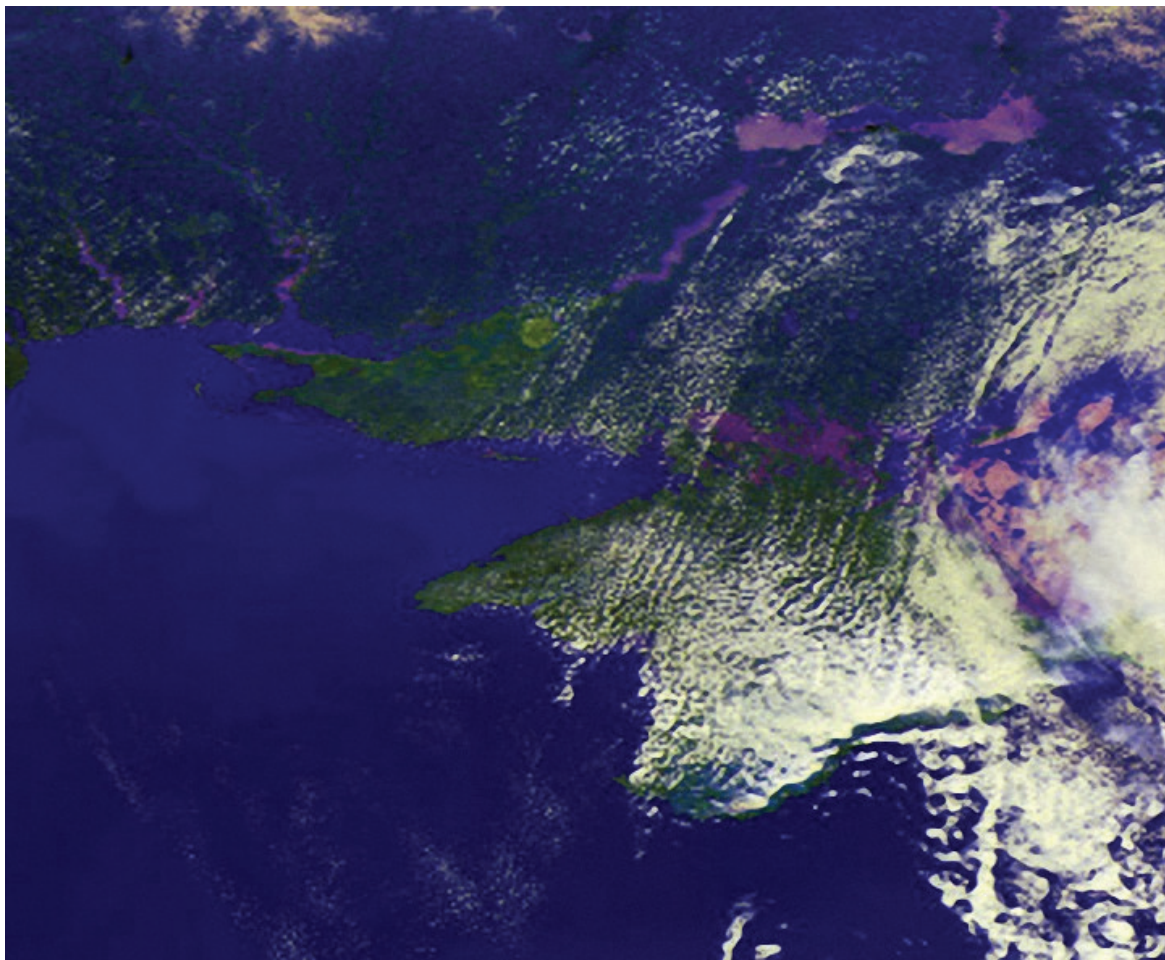


Рис. 3.1 – Фрагмент знімка акваторії Чорного моря із супутника NOAA – 17

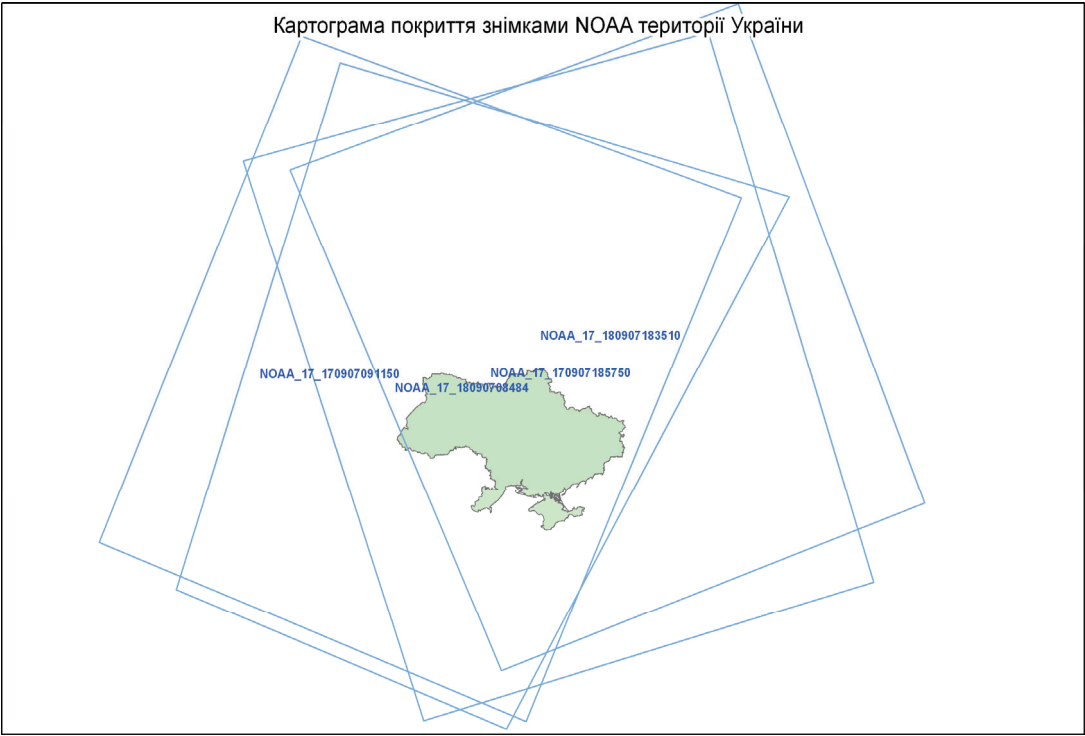


Рис.3.2 – Картограма покриття знімками NOAA акваторії Чорного моря

Приклад космічного знімку ділянки акваторії Чорного моря приведено на рис. 3.1. Дешифруванням космічних знімків NOAA можна відновлювати розподіл завислих речовин та ділянки цвітіння морських вод.

Картограма покриття знімками NOAA акваторії Чорного моря, включених до фонду, приведена на рис. 3.2. Кожен з них супроводжується анотацією, яка містить наступні дані:

- NOAA_17 – назва супутника та його номер;
- 180909 – дата зйомки: 18 – число, 09 – місяць, 09 – рік.
- 084840 – час прийому 08 – годин, 48 – хвилин, 40 – секунд.

Знімки надаються у форматах HRP та JPEG (для огляду) і супроводжуються інформацією про калібровку.

3.2.2. Фонд знімків TERRA

В якості цільової апаратури на ШСЗ TERRA використовується система MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer – скануючий спектрорадіометр середнього розрізнення). Зйомка MODIS йде в 36 спектральних зонах (в діапазоні 0.405–14.385 мкм) з розрізненням 250–1000 м.

Таблиця 3.3 – Характеристика оптико–електронних систем TERRA

Прилад	Спектральний діапазон	Роздільна здатність (м)	Полоса знімання (км)	Період повторної зйомки (діб)
MODIS	0.620 – 0.670	250	60	2–3 у добу
	0.841 – 0.876	250		
	0.459 – 2.155	500		
	0.405 – 14.385	1000		

Назва файлу знімка «TERRA_2009227» складається з наступних даних:
2009227 – дата сканування: 2009 рік, 227 – порядковий номер дня у році (1 січня – 001 день).

Знімки супроводжуються анотацією.

Папка знімка вміщує файли:

MOD09A1.A2009233.h20v04.005.2009248015346.hdf – ім’я файлу геолокації, hdf – Hierarchical Data Format (Ієрархічний формат даних).

MOD09A1.A2009233.h20v04.005.2009248015346.hdf.xml – опис знімка.

Приклад космічного знімку акваторії Чорного моря приведено на рис. 3.3. Знімок відображає зони цвітіння та розподіл завислих речовин у водах Чорного та Азовського морів.

Картограма покриття знімками акваторії Чорного моря приведена на рис. 3.4.

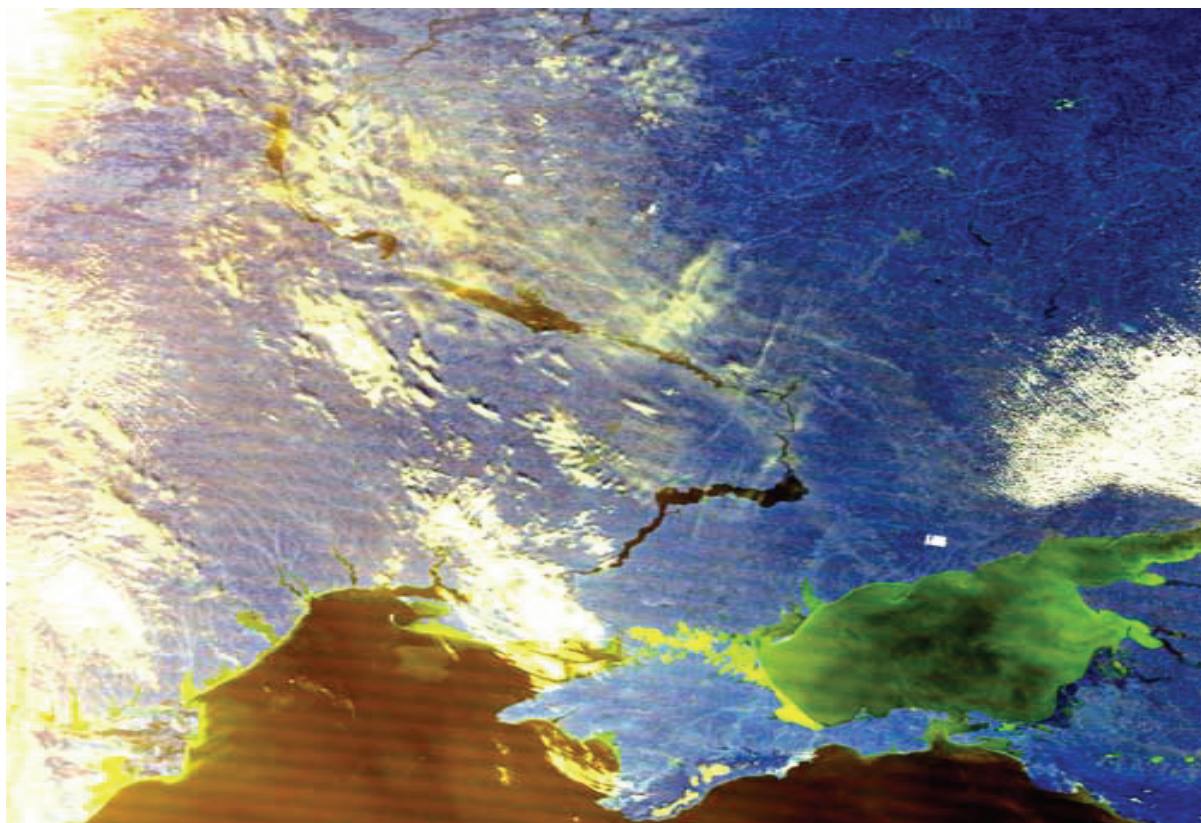


Рисунок 3.3 – Фрагмент знімка акваторії Чорного моря із супутника TERRA



Рис.3.4 – Картограма покриття знімками TERRA акваторії Чорного моря

3.2.3. Фонд знімків SPOT

У ШСЗ Spot використовуються дві оптико–електронні камери HRV. Геометрична роздільна здатність даних Spot при панхроматичному зніманні складає 10 м, при багатозональному – 20 м. Їх основні характеристики приведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристика оптико–електронних систем SPOT

Прилад	Спектральний діапазон	Роздільна здатність (м)	Полоса знімання (км)	Період повторної зйомки (діб)
HRV (Spot–1,2)	0.50 – 0.59	20	60	2–3
	0.61 – 0.68	20		
	0.79 – 0.89	20		
	0.51 – 0.73	10		
HRVIR (Spot–4)	0.50 – 0.59	20	60–80	2–3
	0.61 – 0.68	20 (10*)		
	0.79 – 0.89	20		
	1.58 – 1.75	20		
Прилад	Спектральний діапазон	Роздільна здатність (м)	Полоса знімання (км)	Період повторної зйомки (діб)
HRG (Spot–5)	0.49 – 0.69	10	60–80	2–3
	0.61 – 0.68	10		
	0.78 – 0.89	10		
	1.58 – 1.75	20		
	0.51 – 0.73	5**		
HRS (Spot–5)	0.49 – 0.69	10	60–80	2–3

* – при роботі у односпектральному режимі

** – при наземної обробці двох зображень, отриманих у панхроматичному режимі зйомки з розрізненням 5 м, досягається роздільна здатність 2,5 м

Назва файлу знімка “L–36–XVII” відповідає трапеції карти масштабу 1:200000.

Приклад космічного знімку SPOT акваторії Чорного моря приведено на рис. 3.5.



Рис.3.5 – Фрагмент знімка акваторії Чорного моря (м. Південне) із супутника SPOT

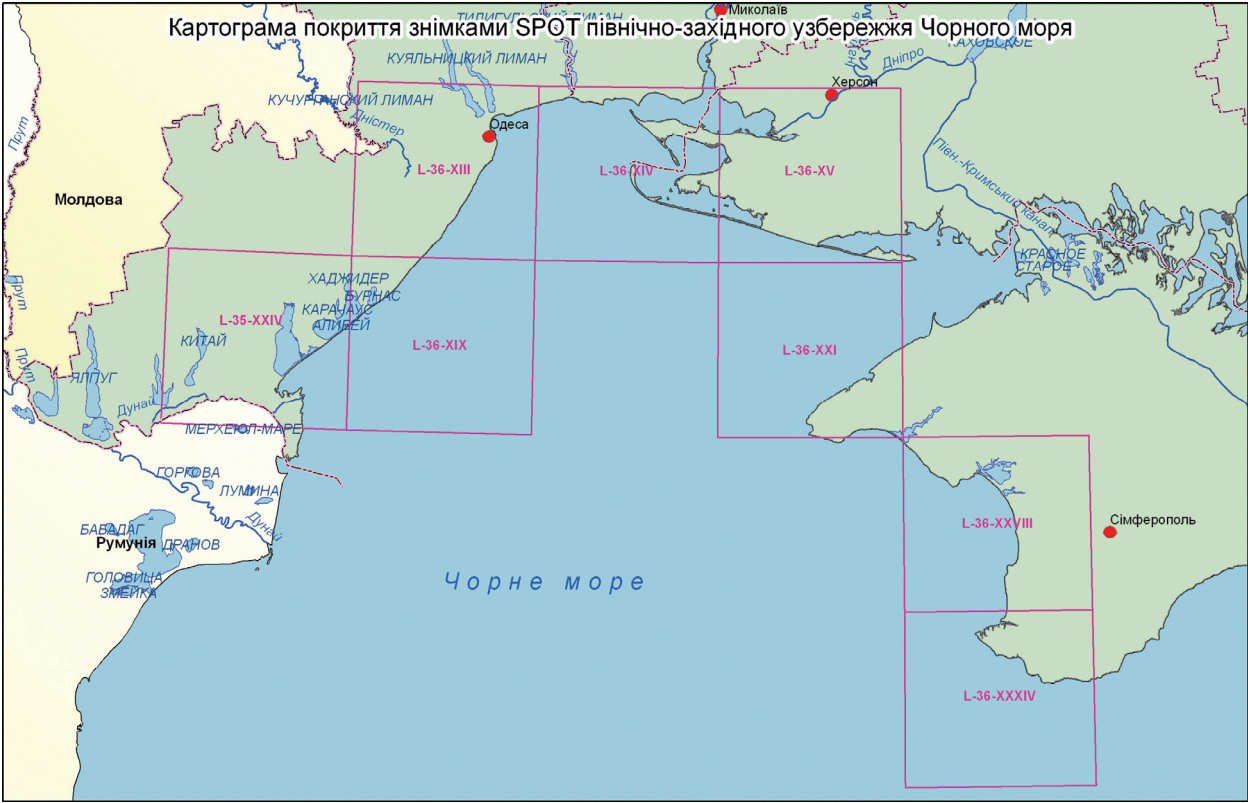


Рис.3.6 – Картограма покриття знімками SPOT акваторії Чорного моря

Знімок відображає зони замулення ділянок та зони розмиття мілін, абразійні ділянки берегової зони та зони розповсюдження продуктів абразії.

Картограма покриття знімками SPOT акваторії Чорного моря наведена на рис. 3.6.

3.2.4. Фонд знімків LANDSAT

Космічна система Landsat зараз в активному режимі має КА Landsat–5 та Landsat–7. До складу апаратури Landsat–5 входять багатоспектральні скануючі радіометри ТМ (Thematic Mapper) та MSS (Multi–Spectral Scanner). Landsat–7 має удосконалений радіометр ETM+ (Enhanced Thematic Mapper +).

Характеристику оптико–електронних систем Landsat приведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Характеристика оптико–електронних систем Landsat

Прилад	Спектральний діапазон	Роздільна здатність (м)	Полоса знімання (км)	Період повторної зйомки (діб)
TM (Landsat–5)	0.45 – 0.52	30	185	16
	0.52 – 0.60	30		
	0.63 – 0.69	30		
	0.76 – 0.90	30		
	1.55 – 1.75	30		
	2.08 – 2.35	30		
	10.4 – 12.5	120		
MSS (Landsat–5)	0.5 – 0.6	79	185	16
	0.6 – 0.7	79		
	0.7 – 0.8	79		
	0.8 – 0.9	79		
ETM+ (Landsat–7)	0.45 – 0.52	30	185	16
	0.53 – 0.61	30		
	0.63 – 0.69	30		
	0.75 – 0.9	30		
	1.55 – 1.75	30		
	2.08 – 2.35	30		
	10.4 – 12.5	60		
	0.52 – 0.9	15		

Папка знімка вміщує файли:

p175r27_4t19890818.browse.jpg – файл для перегляду зображення

p175r27_4t19890818_nn1.tif – p175r27_4t19890818_nn7.tif – спектральні канали.

В назві файлу надана така інформація:

p175 – номер стрічки;

r27 – номер кадру;

4t19890818 – дата: 1989 рік, 08 місяць, 18 число;

nn1 – номер каналу.



Рис.3.7 – Фрагмент спектрального знімка акваторії Чорного моря (м. Південне) із супутника Landsat

Назва знімку на картограмі складається з 2 компонентів, відділених дефісом: 175–27, де 175 – номер стрічки, 27 – номер кадру.

Фрагмент спектрального знімка акваторії Чорного моря із супутника Landsat приведений на рис. 3.7. Картограма покриття знімками приведена на рис. 3.8.

Знімок відображає берегову лінію та площу дзеркала водних об’єктів.

3.2.5. Фонд знімків QuickBird

Компанія DigitalGlobe одержує з супутника QuickBird зображення земної поверхні з роздільною здатністю 0,61 м (панхроматичні) и 2,44 м (багато-спектральні кольорові).

Характеристика оптико–електронних систем QuickBird приведена в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Характеристика оптико–електронних систем QuickBird

Прилад	Спектральний діапазон (нм)	Роздільна здатність (м)	Полоса знімання (км)	Період повторної зйомки (діб)
QuickBird	450–900	0,61	16,5	1–5
	450–520	2,44		
	520–600			
	630–690			
	760–900			

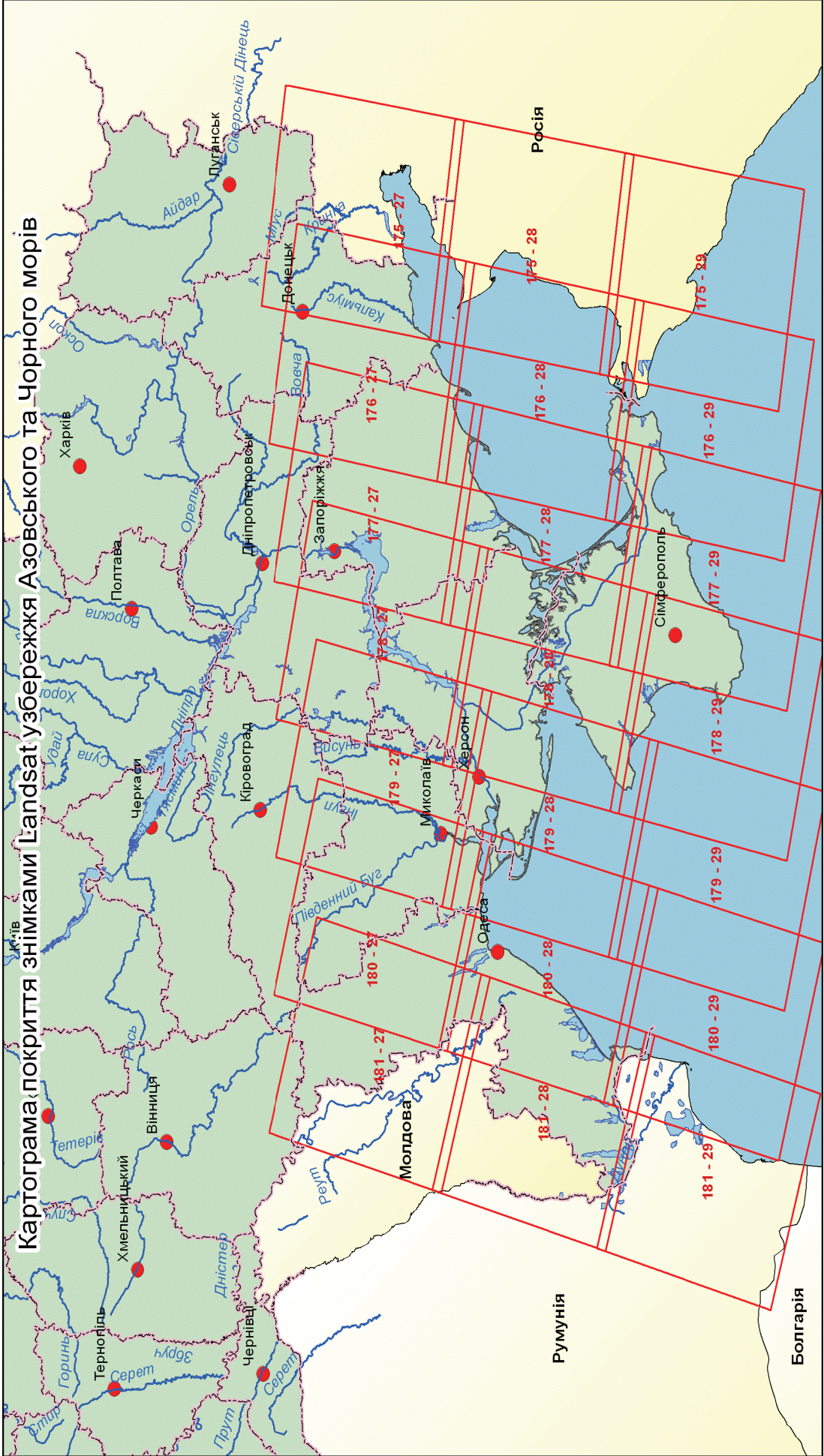


Рис.3.8 – Картограма покриття знімками Landsat акваторії Чорного моря



Рис.3.9 – Фрагмент спектрального знімка акваторії Чорного моря (Іллічівськ) із супутника QuickBird



Рис.3.10 – Фрагмент спектрального знімка акваторії Чорного моря (Євпаторія) із супутника QuickBird

Картограму покриття знімками QuickBird узбережжя Чорного моря приведено на рис. 3.11.



Рис.3.11 – Картограма покриття знімками QuickBird узбережжя Чорного моря

Назва файлу знімка Odessa_20040502 складається з наступних даних:

Odessa – назва найближчого географічного об'єкта;

20040502 – дата зйомки: рік, місяць, день.

Фрагменти спектрального знімка із супутника QuickBird приведено на рис.3.9 – 3.10. Рисунок 3.9 відображає антропогенне забруднення акваторії – нафтову плівку на поверхні води у вигляді тонких видовжених смуг. Рисунок 3.10 відображає кольори води різної солоності.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНОЛОГІЯ ВЕКТОРІЗАЦІЇ РАСТРОВИХ КАРТ ГЛИБИН ЧОРНОГО МОРЯ

4.1 Топографічна основа карт екологічного стану Чорного моря

Сучасні геоінформаційні технології відкривають принципово нові можливості підтримки рішень в області природоохоронних рішень, оскільки візуалізацією геопросторових даних засобами ГІС забезпечується гармонізація безлічі структур баз даних у єдине, об'єктно-орієнтоване інформаційне поле. При цьому простота наочного подання даних порівняна зі складністю побудови запитів при формуванні багаторівневої структури підтримки прийняття рішень.

Відомі аналоги проблемно-орієнтованих ГІС [18-21] уже продемонстрували високу ефективність їх застосування при вирішенні широкого кола завдань охорони природи й управління природокористуванням. ГІС призначена стати ефективним інструментом для оптимізації екологічної ситуації в акваторіях Чорного моря.

Структура її інформаційного фонду визначається характером і предметною спрямованістю прикладних завдань, реалізованих в його складі. При цьому передбачене застосування принципу нових завдань, що полягає в досягненні можливостей відкривати невідомі раніше закономірності взаємодії систем і об'єктів [22-24]. Формування інформаційного фонду геоінформаційної системи в акваторіях Чорного моря здійснювалося з урахуванням цих позицій.

Геомодель місцевості й водних акваторій складається згідно наявного картографічного матеріалу, державної статистичної інформації й окремих вимірів і спостережень (науковим дослідженням).

До складу залучається:

- у растровому форматі у вигляді растрових зображень космічної інформації (поточної й минулих років) і оцифрованих тематичних карт;

- у векторному форматі у вигляді тематичних шарів у середовищі ArcGIS;

- у текстовому форматі у вигляді таблиць бази даних тематичної й статистичної інформації (у середовищі Access);

- у графічному виді у вигляді діаграм, графіків, символів легенд.

Синтез геоінформаційної системи підтримки рішень у сфері керування екологічною безпекою в акваторіях північно-західної ділянки Чорного моря був практично реалізований на базі програмного пакета ArcGIS 9.3.

Особливості представленої моделі [23, 24]:

1. Картографічний матеріал оцифрований і трансформований у єдину картографічну проекцію електронних топографічних основ і карт глибин у векторній формі.

2. Задіяна ієрархічна структура моделі, згідно з якою вся інформація розділяється залежно від масштабу. Розбивка відповідає топографічній розграфці досліджуваної території. Така розбивка сприяє зручній й оперативній вибірці даних, комбінуванню різного ступеня їх генералізації. Кожна одиниця просторової деталізації (відповідні масштабу) закодована відповідно до обраної проекції і кожна вершина квадрата має свої зафіксовані просторові координати.

3. Кожна векторна тема моделі, в свою чергу, має прив'язану до неї базу даних, що відображає легенду тематичного змісту й графічний формат легенди у вигляді різних символів і кольорової контрастності (збережену в певному форматі).

4. Модель ґрунтується на топографічній основі (система вимірів Пулково 1942 р.), представлену топокартами масштабу 1:200000, оцифрованими й трансформованими в картографічну проекцію з високим ступенем точності.

4.2 Технологія векторизації растрових карт Чорного моря

Основний масив даних, що використовувався при наповненні тематичного змісту ГІС, був наданий Національним космічним агентством України. Дані наносилися на електронну топографічну карту масштабу М 1:200 000 (рис.4.1).

Формування баз даних здійснювалося з наступних джерел [21-23]:

- паперові носії (топографічні карти різного масштабного ряду, номенклатури й направленостей, спеціалізовані топоплани й екологічні карти-схеми) (рис.4.1);
- електронні карти й топографічні основи (шейп-файли з візуальною й атрибутивною геоприв'язаною інформацією);
- атрибутивні дані, перетворені в електронні таблиці, з наступною конвертацією у формати ГІС (рис.4.2);
- банк даних оперативних й архівних космічних знімків (рис.4.3, 4.4).

Паперові носії перед підключенням у середовище геоінформаційної системи перетворювали в цифрові формати. Конвертація виконувалася з використанням скануючих пристроїв.

Однією з основних проблем, що виникають при використанні картографічних матеріалів на твердих копіях у формуванні геоінформаційних систем, була прив'язка растрових зображень до топографічної основи з високим ступенем точності.

Найпростішим рішенням у цьому випадку було використання координатної сітки на карті.

Якщо сітка була присутня тільки на рамці, виникала необхідність ручного промальовування в будь-якому графічному редакторі.

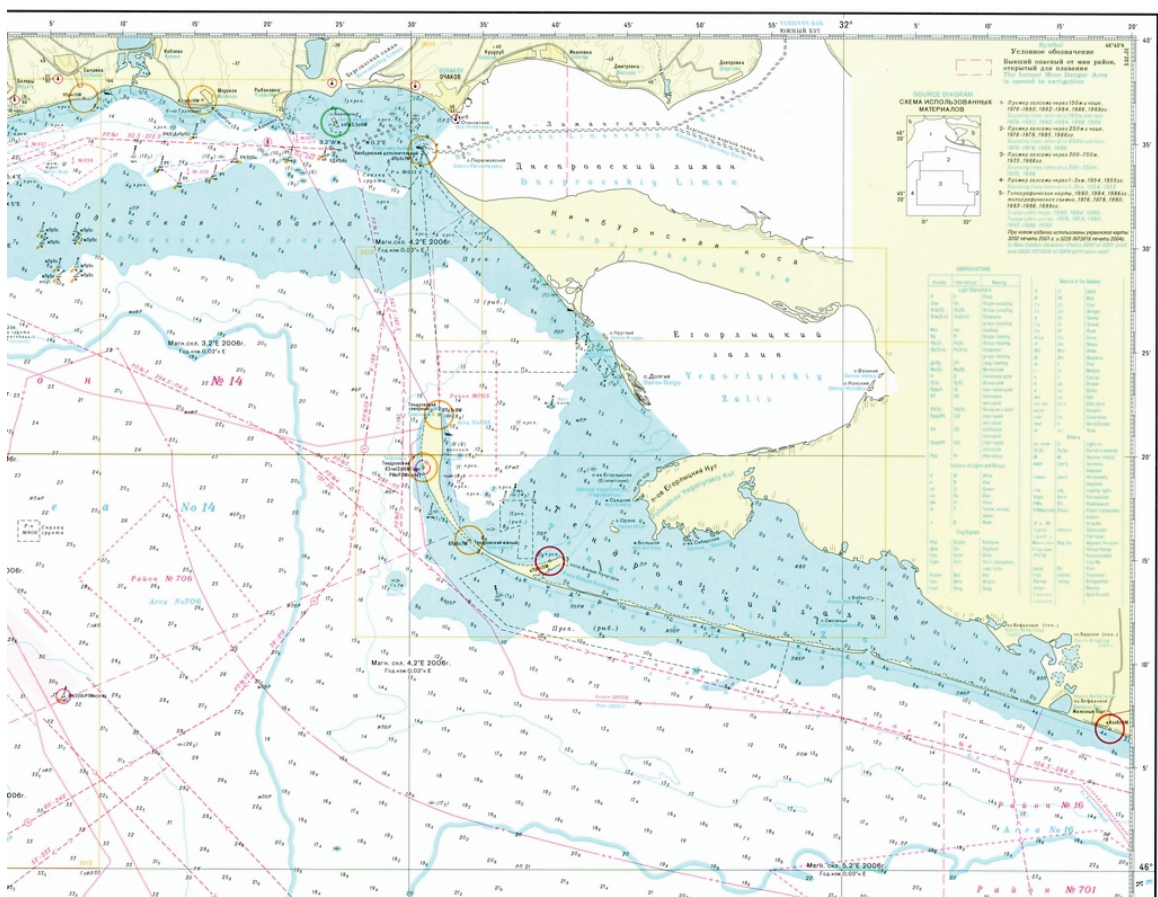


Рис.4.1 - Електронна топографічна карта масштабу М 1:200 000

Attributes of E81STATE									
FID	TITLE	CODELEF	TITLE R	CODETOPO	TITLE E	POP_URB94	POP_COU94	CODESPATU	POP_URB95
0	Барський	0520200000	Барський	8920000000	Bars'kyi	21,4	46,6	0520200000	21,2
1	Бершадський	0520400000	Бершадський	8920000000	Bershad's'kyi	14,5	60,5	0520400000	14,5
2	Вінницький	0520600000	Вінницький	8920000000	Vinnits'kyi	16,8	54,2	0520600000	16,6
3	Гайсинський	0520800000	Гайсинський	8920000000	Haisyn's'kyi	27,3	41,3	0520800000	27,3
4	Жмеринський	0521000000	Жмеринський	8920000000	Zhmeryn's'kyi	5,6	41,9	0521000000	5,6
5	Іллінецький	0521200000	Іллінецький	8920000000	Illinets'kyi	15,8	27,9	0521200000	15,8
6	Козятинський	0521400000	Козятинський	8920000000	Koziatyn's'kyi	38	43,5	0521400000	37,7
7	Калинівський	0521600000	Калинівський	8920000000	Kalyniv's'kyi	21	46,6	0521600000	21
8	Крикопільський	0521900000	Крикопільський	8920000000	Krykopol's'kyi	10,1	34,3	0521900000	10,1
9	Липовецький	0522200000	Липовецький	8920000000	Lypovets'kyi	17,8	28,8	0522200000	17,7
10	Літниський	0522400000	Літниський	8920000000	Litvyn's'kyi	7,7	36,7	0522400000	7,7
11	Мурованокуріловецький	0522800000	Мурованокуріловецький	8920000000	Murovanokurylovets'kyi	7,1	30,3	0522800000	7,1
12	Немирівський	0523000000	Немирівський	8920000000	Nemyriv's'kyi	21,8	40,3	0523000000	21,9
13	Оратівський	0523100000	Оратівський	8920000000	Orativ's'kyi	3,4	25,6	0523100000	3,5
14	Підсанський	0523200000	Підсанський	8920000000	Pischan's'kyi	8,5	19,2	0523200000	8,4
15	Поліребищенський	0523400000	Поліребищенський	8920000000	Pohrebyschens'kyi	11,7	29,9	0523400000	11,7
16	Теплицький	0523700000	Теплицький	8920000000	Teplits'kyi	7,8	30,5	0523700000	7,5
17	Томашпільський	0523900000	Томашпільський	8920000000	Tomashpil's'kyi	16	26,9	0523900000	15,9
18	Троїтанський	0524100000	Троїтанський	8920000000	Trostanets'kyi	31,1	35,7	0524100000	31,2
19	Тулчинський	0524300000	Тулчинський	8920000000	Tulchyn's'kyi	28	40,8	0524300000	27,9
20	Тирівський	0524500000	Тирівський	8920000000	Tyrviv's'kyi	26,8	24	0524500000	26,5
21	Хмельницький	0524800000	Хмельницький	8920000000	Khmelnyts'kyi	0	46,7	0524800000	0
22	Чечельницький	0525000000	Чечельницький	8920000000	Chechelnyts'kyi	6,3	24,2	0525000000	6,2
23	Шаргородський	0525300000	Шаргородський	8920000000	Sharhorods'kyi	7,8	60,8	0525300000	7,8
24	Ямпільський	0525600000	Ямпільський	8920000000	Yampil's'kyi	12,9	37,2	0525600000	12,9
25	Вінницький	0510100000	Вінниця	8920000000	Vinnitsia	387,2	0	0540100000	387,8
26	Жмеринка	0510300000	Жмеринка	8920000000	Zhmerynka	42,3	0	0540300000	42
27	Моліле-Подільський (міськрада)	0510400000	Моліле-Подільський (міськрада)	8920000000	Mohyliv-Podil's'kyi	36,8	0,3	0540400000	36,5
28	Хмельник	0510900000	Хмельник	8920000000	Khmelnyk	31,1	0	0540900000	31
29	Чернівський	0524900000	Чернівський	8920000000	Chernivets'kyi	3,1	28,3	0524900000	3,2
30	Володимир-Волинський (міськрада)	0710200000	Володимир-Волинський (міськрада)	8920000000	Volodymyr-Volyn's'kyi	40,8	0	0740200000	40,6
31	Ківерцівський	0721800000	Ківерцівський	8920000000	Kivertsiv's'kyi	27	40,4	0721800000	27
32	Ковельський	0722100000	Ковельський	8920000000	Kovel's'kyi	8,3	34,3	0722100000	8,3
33	Локачинський	0722400000	Локачинський	8920000000	Lokachyn's'kyi	4,3	20,8	0722400000	4,3
34	Луцький	0722800000	Луцький	8920000000	Luts'kyi	5,9	46,7	0722800000	6
35	Рожищенський	0724500000	Рожищенський	8920000000	Rozhyshchens'kyi	16,1	26,4	0724500000	16,2
36	Старовицький	0725000000	Старовицький	8920000000	Starovyzhivs'kyi	4,8	29,3	0725000000	4,8
37	Турийський	0725500000	Турийський	8920000000	Turys'kyi	9,6	20,1	0725500000	9,5
38	Луцьк	0710100000	Луцьк	8920000000	Luts'k	218,8	0	0740100000	218,6
39	Ковель	0710400000	Ковель	8920000000	Kovel'	72,6	0	0740400000	72,4
40	Нововолинський (міськрада)	0710700000	Нововолинський (міськрада)	8920000000	Novovolyn's'k	62,5	0	0740700000	61,7
41	Білокуракинський	4420900000	Білокуракинський	8920000000	Blukurakyn's'kyi	10,4	16	0920900000	10,4
42	Путулунський	4422200000	Путулунський	8920000000	Putulyn's'kyi	62,3	21,4	0922200000	61,4
43	Марківський	4422500000	Марківський	8920000000	Markiv's'kyi	8	12,2	0922500000	8
44	Міловський	4422800000	Міловський	8920000000	Milov's'kyi	5,7	12	0922800000	5,6
45	Новоайдарський	4423100000	Новоайдарський	8920000000	Novoaidars'kyi	8,6	20,4	0923100000	8,6

Рис.4.2 - Атрибутивні дані, перетворені в електронні таблиці, з наступною конвертацією у формат ГІС



Рис. 4.3 - Космічний знімок з бази даних (м.Євпаторія)

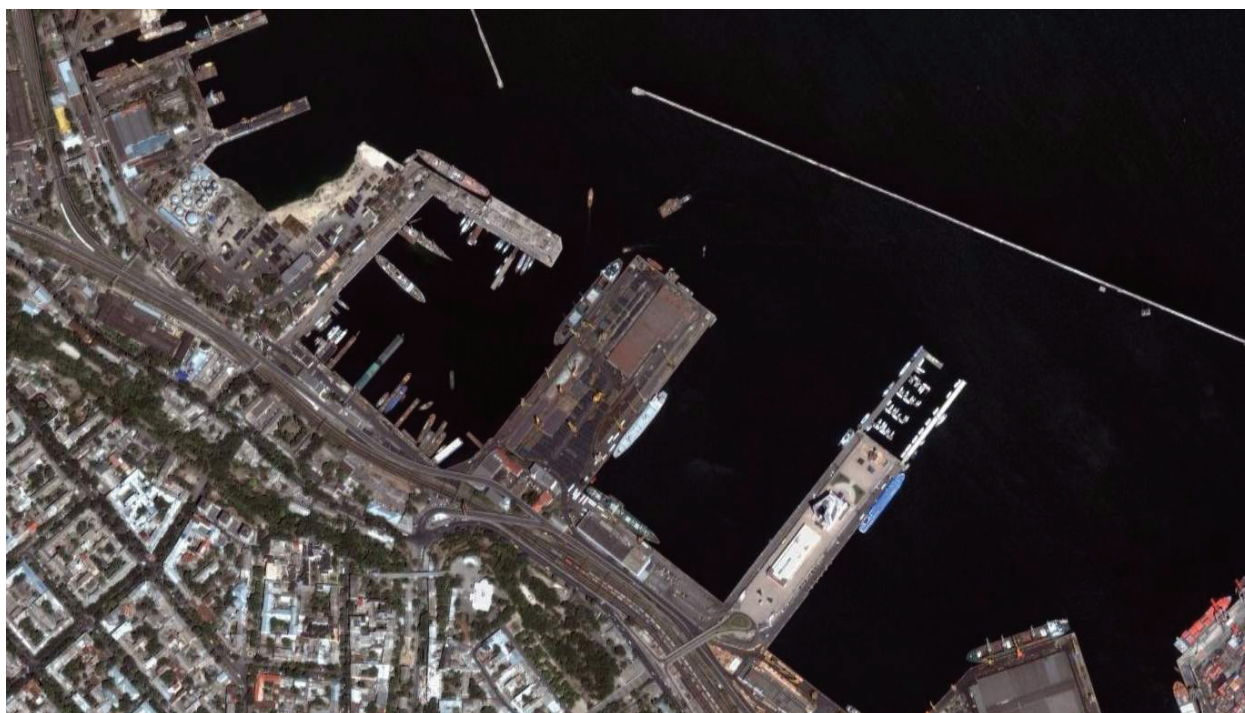


Рис. 4.4 - Космічний знімок з бази даних (м.Одеса)

Для процесу геоприв'язки підключалася растрова карта (File\Add Data) і панель прив'язки View\Toolbars\Georeferencing (рис. 4.5).

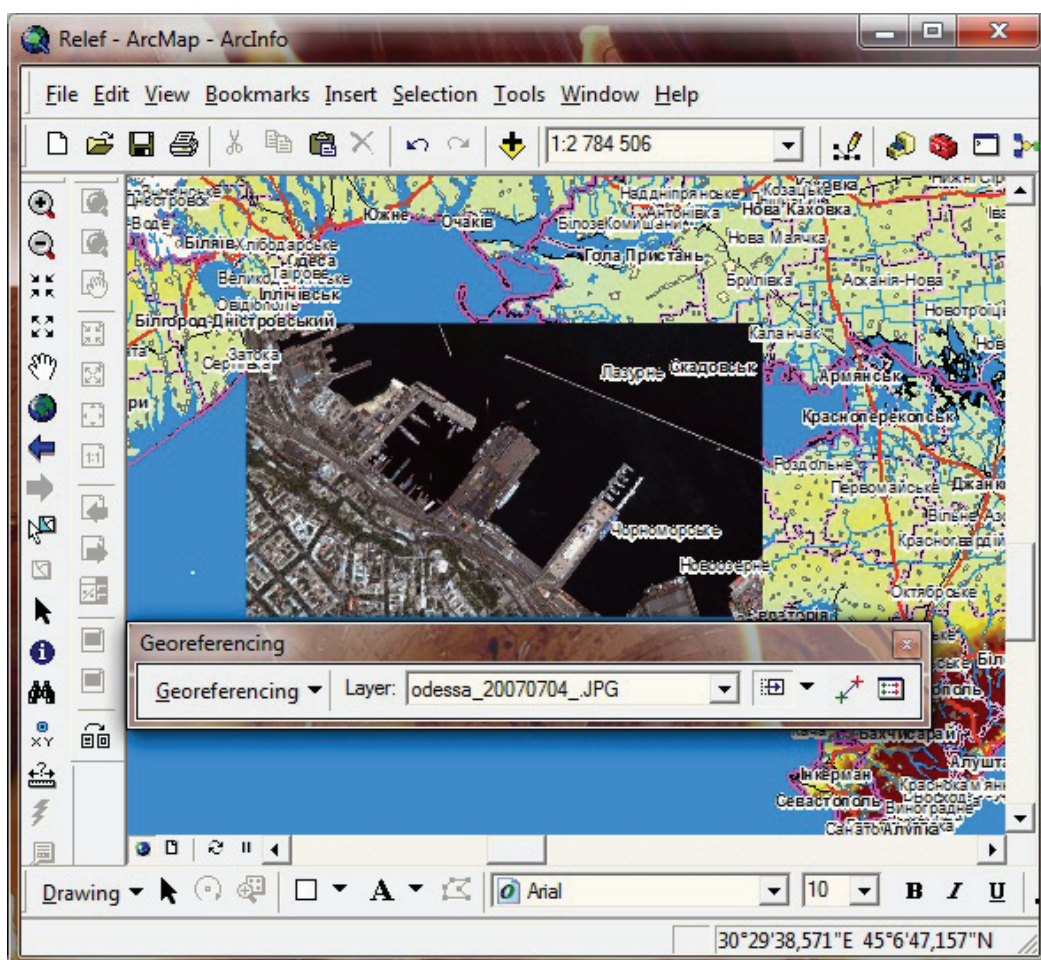


Рис.4.5 - Панель прив'язки растрових зображень

За допомогою інструмента прив'язки (передостання кнопка), натискаючи на перетинання координатних ліній (або будь-якій іншій точці з відомими координатами) на карті при повторному кліку в будь-якому місці правою кнопкою й виборі «Input X Y», виводилися координатні крапки (Рис.4.6).

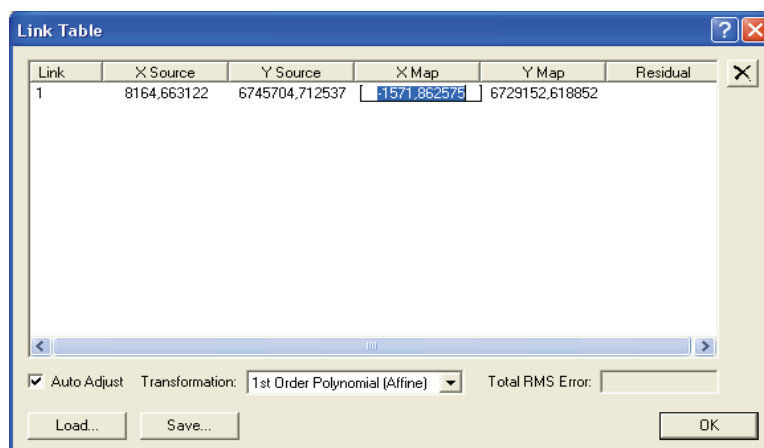


Рис.4.6 - Вікно таблиці координатних прив'язок

Координати вводилися у форматі DD.DDDDD (десяткові градуси). Коли робочий матеріал не містив координатної сітки, прив'язка здійснювалася по

опорних точках. Як опорні точки вибиралися найбільш характерні об'єкти: перетинання великих доріг, залізничного полотна, границі водойм і водоймищ, границі полів і лісів.

Перевірка точності прив'язки здійснювалася по сітці розграфки топокарт певного масштабу. Для цього в ArcGIS завантажувалася прив'язана топокарта й відкривався файл розграфки з попередньо розрахованою сіткою топокарт. Після цього в точках перетинання паралелей і меридіанів оцінювалася точність збігу із сіткою файлу розграфки.

У процесі реалізації створення тематичних шарів використовувалися наступні методи [24]:

- Ручна векторизація в ArcGIS 9.3, шляхом оконтурювання прив'язаних об'єктів растрового зображення. На вихідних матеріалах цифрових карт масштабу 1:200 000 всі графічні об'єкти й елементи, що мають розміри менше одного міліметра, спрощувалися. Так, полігональний об'єкт, із шириною менше 1 мм перетворювався в лінійний; полігональний об'єкт, ширина й висота якого не перевищували 1 мм, перетворювався в точковий. У результаті такого спрощення істотно змінювався зовнішній вигляд карти при її візуалізації (Рис.4.7, 4.8).

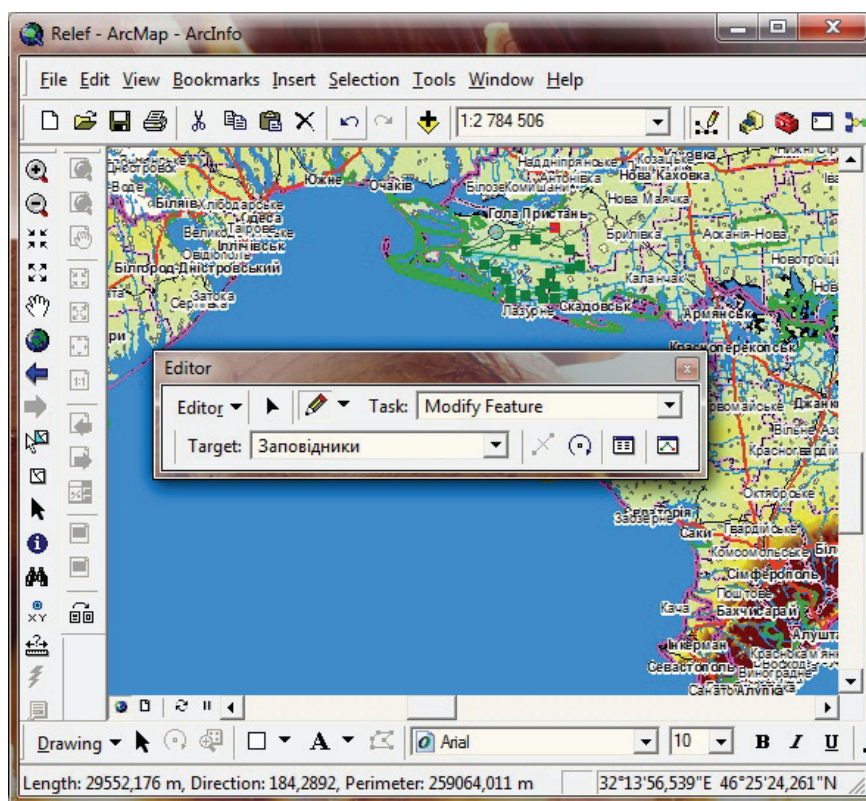


Рис.4.7 - Векторизація лінійних об'єктів засобами ручного редагування

- Автоматичне перетворення по засобах функції трансформації ArcGIS 9.3 Tools/Add XY Data атрибутивних даних.

Велика кількість просторових матеріалів надходили в табличному вигляді з інформацією про місце розташування об'єкта в GPS координатах.

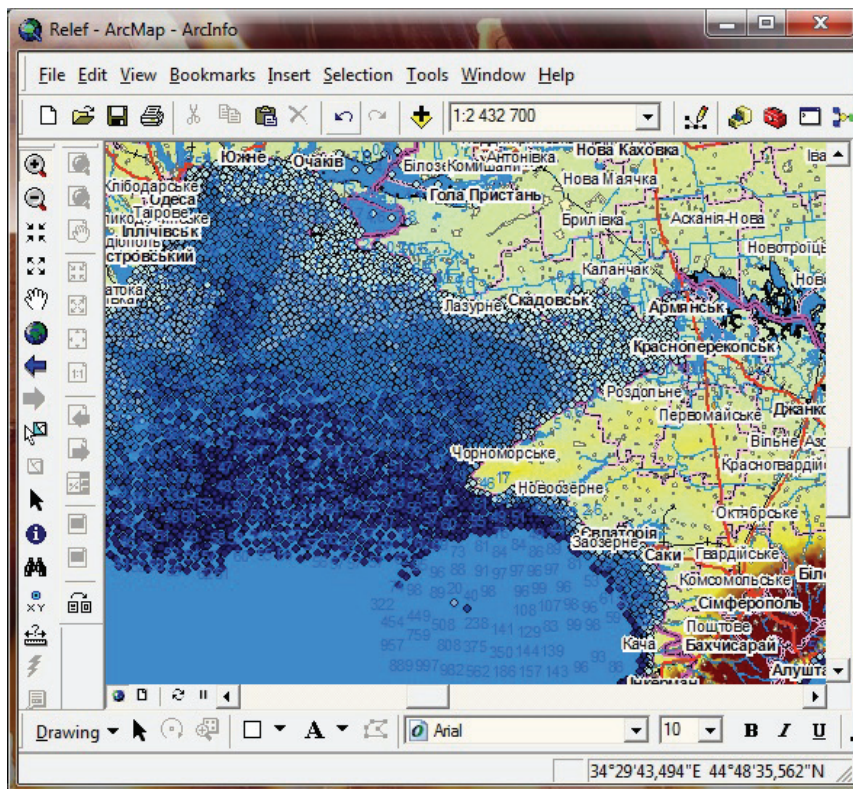


Рис.4.8 - Ручна векторизація точкових об'єктів

Ступінь точності нанесення цих об'єктів на карту залежала від ступеня точності виміру приймача й від коректності перекладу в координатну систему електронної карти.

– Автоматизована векторизація попередньо обробленого зображення, ступінь точності якої задавалася параметром Cell Size. При автоматизованій векторизації основна увага приділялася попередній обробці зображення. Принцип даного методу заснований на виділенні лінії при переході двох кольорів, тому на знімку залишають об'єкти тільки одного класу (точкові, лінійні, полігонні), і закрашують знімок у два кольори (зазвичай чорний й білий, хоча можливі виключення). Нижче представлений приклад вікна автоматичної векторизації растрового зображення в полігонні об'єкти (рис.4.9);

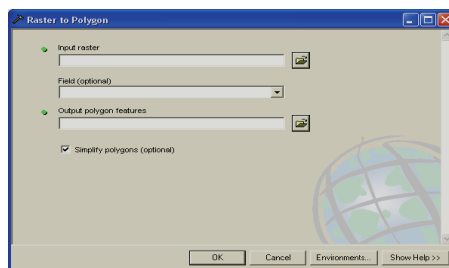


Рис.4.9 - Вікно автоматичної векторизації растрового зображення в полігонні об'єкти

– Конвертація даних CAD-систем (computer-aided design – автоматизоване проектування). Частина даних надходила у вигляді векторної інформації, спроектованої в CorelDraw. Результат конвертації представлений на рис.4.10.

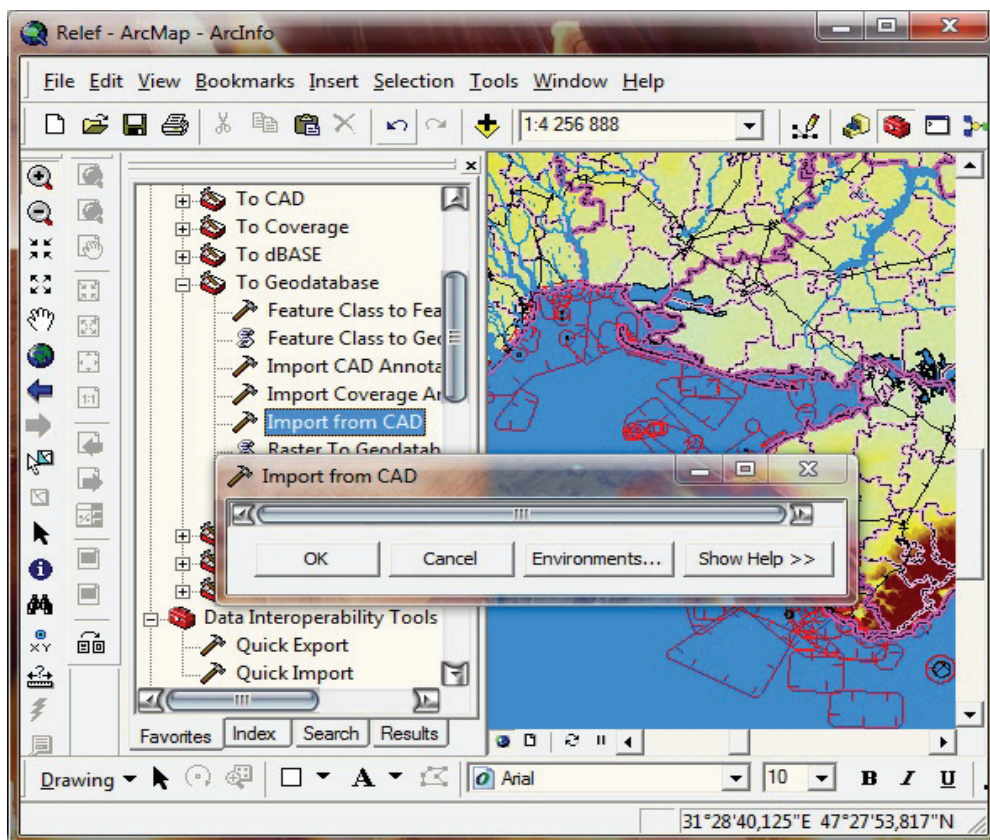


Рис.4.10 - Конвертація з CAD систем- в об'єкти ГІС платформи

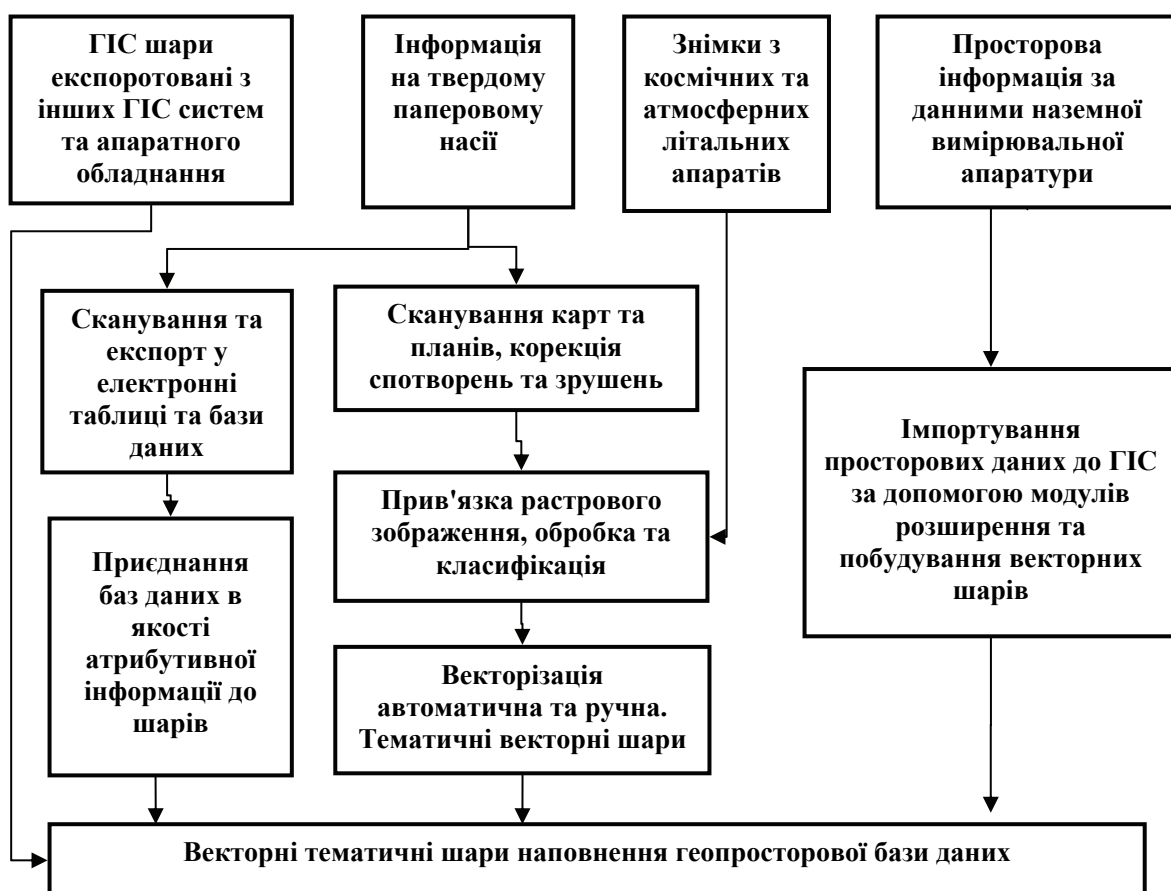


Рис.4.11 - Загальна схема наповнення просторових баз даних

Після перетворення здійснювалася прив'язка об'єктів. Найпростіший спосіб – перенос, зміна розмірів  і поворот  об'єктів з наступним їхнім сполученням із уже прив'язаними об'єктами.

Ступінь точності вихідного матеріалу прямо залежить від точності створення вхідних матеріалів CAD проектів, тому що прив'язку векторних даних здійснювали введенням координат переносу. Похибки виникали при стикуванні різних координатних систем.

Загальна схема наповнення просторових баз даних зображена на рис.4.11.

РОЗДІЛ 5

ПРОГРАМНО - ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ОБРОБКИ ДАНИХ КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЧОРНОГО МОРЯ

Якість матеріалів космічної зйомки, а також методи, що використовуються для їхньої обробки є найважливішою складовою ефективності використання методів ДЗЗ з космосу для вирішення завдань охорони навколишнього середовища. Загальне завдання обробки можна сформулювати як локалізації різних природних і антропогенних об'єктів на підстилаючій поверхні, оцінки їх властивостей за параметрами космічних знімків, даними контактних методів зондування і допоміжною інформацією (результатів раніше виконаного дешифрування, картографічних, літературних, відомчих і інших матеріалів, результатів підсупутникових вимірювань досліджуваних показників), аналізу локалізованих об'єктів, зняття їх топологічних характеристик, і визначення тенденції змін виявленого об'єкту.

У зв'язку з цим актуальною є розроблення єдиної концепції для створення універсальної багатопараметричної розподіленої геоінформаційної системи, що забезпечує інформаційну підтримку аналізу експериментальних даних і даних космічного моніторингу, а також побудову прогнозу динаміки виявлених змін з оцінкою можливих наслідків [25, 26].

5.1 Теоретичне обґрунтування технології обробки даних космічного моніторингу водних акваторій

Поява ефективних методів вивчення різних аномалій, аналізу причинно-наслідкових зв'язків змін їх можливих станів призвело до стрімкого накопичення експериментальних даних. Все це зробило неможливим комплексну інтеграцію в рамках приватних підходів. Складністю для міждисциплінарного підходу стала система понять і термінів, що описують елементарні структури і події в екосистемах, а також відсутність єдиного математичного апарату [27-29].

Побудова системи загальних понять для інтеграції різночасних різномірних даних, що були отримані з різних джерел і в різних умовах, а також розробка єдиних методів і геомodelей для їх аналізу є складною і до кінця невирішеною проблемою [25, 28-31]. Не існує можливості в рамках уніфікованого інформаційного підходу описувати самі різні типи аномалій незалежно від того, які елементарні об'єкти і структури забезпечують їх організацію і функціонування. Як правило, всі існуючі системи орієнтовані на моделювання аномалій або екосистем в певних умовах їх існування, виключаючи при цьому значну кількість випадкових чинників збурень. Для функціонування таких систем повинні пред'являтися підвищені вимоги до обчислювальних ресурсів і до доступної пам'яті.

Таким чином, перш за все необхідне створення аналітичних методів для додаткової обробки, дешифрування і візуалізації даних польових спостережень

і дистанційного космічного зондування, які включають адаптацію вже існуючих сучасних методів дешифрування космічної інформації [32, 33].

Що стосується даних космічного моніторингу, то останнім часом все частіше використовуються методи виявлення, локалізації та ідентифікації різних об'єктів і їх змінених станів через певний період часу, основоположними в яких є ієрархічні моделі [25, 30, 33].

Основний принцип роботи таких методів і побудованих на їх основі алгоритмів – робота не зі всім зображенням, а тільки з виділеними гомогенними фрагментами. Такий підхід до представлення зображення дозволяє значно скоротити час обробки і заощадити пам'ять.

Приблизно за таким же принципом працює і механізм використання «критерійних дерев» [25, 30]. Результатом побудови «критерійного дерева» є гіперграфова структура, з кодованими гомогенними фрагментами. При цьому коди визначають приналежність кожного з фрагментів до однієї з гілок «критерійного дерева» відповідно до деякого набору правил, що дозволяють ідентифікувати приналежність аналізованого фрагмента зображення до того або іншого класу об'єктів [33-36].

Реалізація такого підходу дозволяє визначити набір правил, що визначають сегментацію на порівняно невеликому фрагменті, а потім використовувати ці правила для всього знімка або сукупності знімків [31, 33].

Можливість проводити детальний аналіз знімків однієї і тієї ж території через певний період часу передбачає проведення різних операцій при сумісному використанні апріорних даних, що мають як кількісні, так і якісні характеристики. Для можливості проведення цих операцій на етапі проектування геоінформаційної системи необхідним є формування модуля ієрархічного опису даних і їх формалізованого представлення (у вигляді математичних моделей), що включає [28, 35, 37-39]: онтологію їх структурно-функціональної організації незалежно від їх походження з ключовими поняттями, які є значущими для опису їх динаміки, використання алгебри зображень на основі дескриптивного підходу [28, 29]; використання операцій алгебри «критерійних дерев», що була створена для об'єднання даних зображень з даними польових спостережень.

Алгебра зображень на основі дескриптивного підходу забезпечує перехід від інформації у вигляді зображень до формальних описів (моделей). Опис зображень на мові алгебри дає можливість об'єднати уявлення, використовувані в алгоритмах розпізнавання, уявленнями, що використовуються в математичному моделюванні в тих прикладних областях, до яких відносяться оброблювані зображення [28, 29, 31, 34-37].

Алгебра «критерійних дерев» дозволяє проводити різні операції (складання, віднімання, множення і ділення або при об'єднанні кількісних характеристик якісними, відповідні цим операціям, операції алгебри нечіткої логіки) алгебраїчні і геометричні операції з гомогенними фрагментами, що мають свої значення вагових коефіцієнтів, які дозволяють набувати нового значення пріоритетів залежно від використовуваних критеріїв стосовно вершинам «критерійних дерев» [31, 42]. Особливо

актуальним це є при створенні нових «різницевих дерев», які можуть бути одержаними в результаті оверлейних структур. Для цього необхідним є:

- розробка загальних понять і класифікаторів при розподілі даних по різних класах з різними пріоритетами у вигляді ієрархічної структури, що забезпечують єдиний інформаційний простір між тематичними областями геодезії, геології, географії, біології тощо, даними космічного моніторингу, які обробляються тільки в камеральних умовах (об'єднання створених інформаційних і спектральних класів в єдиний простір);

- використання розроблених понять і класифікаторів при створенні розподілених взаємозв'язаних інформаційно-аналітичних систем для міждисциплінарних досліджень навколишнього середовища;

- кодування ознак відповідно до пріоритету впливу на аналізовані аномалії або екосистеми.

Використання концепції алгебри розпізнавання [28, 29] для роботи з початковою інформацією, яка представлена у вигляді зображень, є можливим в результаті побудови уніфікованої схеми опису зображень відповідно алгебраїчному підходу. Основна трудність полягає в тому, що для зображень немає природного методу уявлення у вигляді набору ознак, використовуюваного в класичному варіанті завдання розпізнавання образів. Завдання побудови описів зображень для застосування апарату алгебри розпізнавання формалізовані в дескриптивному підході до аналізу зображень [28,35]. Використовується підхід, що полягає у дескриптивного методу в загальну схему алгебри з алгеброю над алгоритмами [28, 29, 35].

Дескриптивна алгебра зображень є спеціалізацією підходу алгебри до розпізнавання образів на випадок роботи із зображеннями. Основна відмінність від класичного варіанту полягає в тому, що об'єктами алгебри, разом з алгоритмами, є також і описи вхідної інформації [28, 31]. У загальному випадку формалізм алгебри повинен бути деякою формальною системою для уявлення і перетворення зображень, що задовольняє наступним умовам:

- а) кожен об'єкт є ієрархічною структурою, що побудована за допомогою операцій алгебри зображень з елементарних об'єктів стосовно «критерійних дерев» –фрагменти побудованого дерева (гомогенні блоки);

- б) у якості об'єктів можуть використовуватися, множини, моделі, операції, морфізми;

- в) кожне перетворення є ієрархічною структурою, яка побудована за допомогою операцій алгебри зображень з набору базисних перетворень - побудова нових дерев усередині фрагментів і «різницевих дерев» на основі нових і архівних зображень.

Доцільність використання нового класу алгебри зображень, зокрема, дескриптивної алгебри зображень, обумовлюється її специфікою, що полягає в тому, що елементами кільця є як моделі зображень, так і операції над зображеннями.

Як операції можуть використовуватися стандартні операції алгебри, спеціалізовані операції обробки і перетворення зображень, представлені у формі алгебраїчних операцій, операції алгебри нечіткої логіки [29, 35].

Використання дескриптивної алгебри зображень підвищує ефективність рішення таких задач, як побудова описів зображень для їх аналізу і розпізнавання, адаптація алгоритмів обробки до специфіки прикладних, навігація в базах даних і базах знань, що підтримують обробку і аналіз зображень, розпаралелювання обробки і аналізу зображень. Вони забезпечують перехід від інформації у вигляді зображень до формальних описів (моделей), які забезпечують об'єднання з апаратом алгебри розпізнавання образів. Опис зображень за допомогою алгебраїчних операцій дає можливість об'єднати уявлення, що використовуються в алгоритмах розпізнавання, з уявленнями, які використовуються в математичному моделюванні в тих прикладних областях, до яких відносяться оброблювані зображення.

Під вхідними зображеннями на увазі маються нетрансформовані знімки, які пройшли попереднє дешифрування без додаткової фотограмметричної обробки, по яких потрібно ухвалити рішення про його приналежність до заданих класів. Для розпізнавання використовуються алгоритми перетворення зображень, побудови часткових оцінок і побудови на їх основі повної оцінки.

Таким чином, відповідно до дескриптивного підходу до алгебри зображень кільце A_0 відповідатиме операціям алгебри зображень, що будують перетворення вхідних зображень в деякі моделі, кільце A_2 відповідає алгоритмам, що перетворюють зображення в деякі векторні оцінки, кільце A_1 відповідає моделям об'єктів, а кільце A_3 – числовим оцінкам. Така дескриптивна алгебра описуватиме процеси ієрархічної обробки, в яку включені операції [31]:

- приведення вхідних зображень до єдиної проекції для подальшої обробки (A_0) – блок фотограмметричної обробки [25,30,34,44];
- композиція трансформованих вхідних зображень, які приведені до єдиної системи координат і заданої проекції в результаті фотограмметричної обробки (A_0) за допомогою операцій (A_1), операції алгебри, що відповідають перетворенням зображенням у вигляді «критерійних дерев» (A_3) - завершальний етап отримання гомогенних фрагментів [25,30,32];
- побудова векторних оцінок (A_2) і визначення вагових коефіцієнтів по відповідних критеріях для кожного з фрагментів в результаті операцій (A_1) [30, 40, 42, 45];
- перетворення цих оцінок з метою отримання простих числових оцінок (A_3) для всієї наявної інформації [30, 38-41].

Вибір кілець визначає вид дескриптивної алгебри [28]. Таким чином, при використанні дескриптивної градуїрованої алгебри буде:

$$A = A_0 + A_1 + A_2 + A_3,$$

де алгебра A - супералгеброю або Z_2 -градуированной алгеброю (має місце пряма сума чотирьох кілець).

Результатом застосування розглянутого підходу до аналізу і формалізації вхідних даних для отримання «критерійних дерев» з

використанням класичних методів обробки, є прив'язані гомогенні фрагменти зображень, що містять виявлену аномалію.

Для проведення перетворень «критерійних дерев» пропонується розроблена алгебра «критерійних дерев», що дозволяє проводити різні класичні операції (складання, віднімання, множення і ділення або при об'єднанні кількісних характеристик з якісними і відповідні цим операціям операції алгебри нечіткої логіки) з гомогенними фрагментами, атрибутами і просторовими індексами. Такий підхід дозволяє набувати нового значення пріоритетів залежно від використовуваних критеріїв відповідних вершин «критерійних дерев» [31, 32].

Особливо актуальним це є при створенні нових «різницевих дерев», одержаних в результаті проведення оверлейних операцій і операцій з різночасовими, або побудованими «критерійними деревами», які побудовані на основі зображень, що отримані різними системами і за різними умовами.

Алгебра «критерійних дерев» побудована у вигляді ієрархічної структури і складається з атомарних алгебр, кожна з яких виконує операції з одним типом даних і композиційних алгебр, які виконують операції на основі атомарних.

При цьому слід відмітити, що запропонований механізм дозволяє проводити операції не тільки з різнорідними даними, на основі дешифрувальних ознак і контактних методів, але і просторовими індексами, значеннями пріоритетів вершин дерев, виділеними полігонами усередині фрагментів і значеннями часових рядів при прогнозуванні.

Як атомарні алгебри, розглядаються:

- алгебра, що визначає операції з вершинами фрагментів «критерійних дерев», які є відповідними критеріям, що оцінюються якісними характеристиками з мінімальними ваговими коефіцієнтами – $A_{ij}^{K_{nm}}$, де i, j – координати вершин на дереві; K_{nm} – номер дерева в базі даних з рівнем вкладеності усередині дерева n і номером фрагмента m з відповідними йому географічними координатами (L, B) і прямокутними (x, y) ;

- алгебра, що об'єднує вершини фрагментів дерев, які є відповідними критеріям, що оцінюються кількісними характеристиками з мінімальними ваговими коефіцієнтами – $B_{ij}^{K_{nm}}$.

Як «композиційна» алгебра, розглядається алгебра, що оперує з елементарними алгебрами $A_{ij}^{K_{nm}}$ і $B_{ij}^{K_{nm}}$.

Відповідність класичних алгебраїчних операцій операціям алгебри «критерійних дерев» представлено в табл.5.1.

В результаті сумісного використання дескриптивного підходу до алгебри зображень і операцій із застосуванням алгебри «критерійних дерев» може бути сформований вектор параметрів кількісних і якісних характеристик в єдиній шкалі, що характеризують певний фрагмент або декілька фрагментів зображень, що містять досліджувану аномалію і виявлені зміни її геометричних характеристик, які отримані в результаті проведених перетворень [25, 33, 44].

Таблиця 5.1-Відповідність класичних операцій алгебри числами елементарної алгебри з фрагментами в алгебрі «критерійних дерев»

Елементарна алгебра $A_{ij}^{K_{int}}$	Операції алгебри нечітких множин (диз'юнкція і кон'юнкція нечітких множин)
Елементарна алгебра $B_{ij}^{K_{int}}$	Операції класичної алгебри (складання, множення, віднімання) Операції класичної теорії множин (об'єднання, перетинання)

Використання розглянутого механізму дозволяє при тематичному дешифруванні врахувати додаткові дешифрувальні ознаки, які при стандартних методах дешифрування звичайно відсіваються, прослідкувати причинно-наслідкові зв'язки виникнення аномалій і підготувати дані для побудови прогнозу подальшого розповсюдження аномалій і її впливу на екосистему даної території [25, 30].

У загальному вигляді програмно – технологічний комплекс обробки даних по аналізованій території представлений у вигляді структурної схеми (рис.5.1-5.3).

У приведеній схемі до блоку 6 розписана технологія обробки даних космічного моніторингу водних акваторій розробленого програмно-технологічного комплексу.

Блок 6-15 є дослідженнями, пов'язаними з виявленням тенденцій подальшого розвитку виявленої аномалії і оцінкою можливих наслідків. Основні теоретичні результати даних досліджень (блоки 6 - 15) розглянуті в роботах [26, 44, 46-48].

Блок 1 Вхідні дані (несинтезований знімок)

Як вхідні дані використовуються знімки, що пройшли попередню обробку. Таким чином, спотворення на зображенні, які пов'язані з недосконалістю реєструючої апаратури; впливом атмосфери; перешкодами із-за передачі зображень по каналах зв'язку; геометричні спотворення, які пов'язані з методом космічної зйомки, умовами освітлення підстилаючої поверхні, процесами фотохімічної обробки і аналого-цифрового перетворення зображень (при роботі з матеріалами фотографічної зйомки) і іншими – усунені. Проте, для збереження ряду дешифрувальних ознак вхідні зображення не повинні бути синтезовані. При цьому вважається, що вони пройшли етап попередньої прив'язки.

Блок 2 Побудова геоінформаційних моделей для виявлення аномалій різного походження

Для можливості більш ефективного виявлення і локалізації об'єктів, що є різного роду змінами і є виявленими в результаті космічного моніторингу, заздалегідь необхідно провести додаткову обробку знімка, яка включає декілька блоків: блок фотограмметричної обробки, усунення сукупності випадкових факторів і найважливіший етап побудови «критерійних дерев» і проведення з ними геометричних і оверлейних операцій. Дана обробка є обов'язковою для всіх знімків, що становлять базу даних.

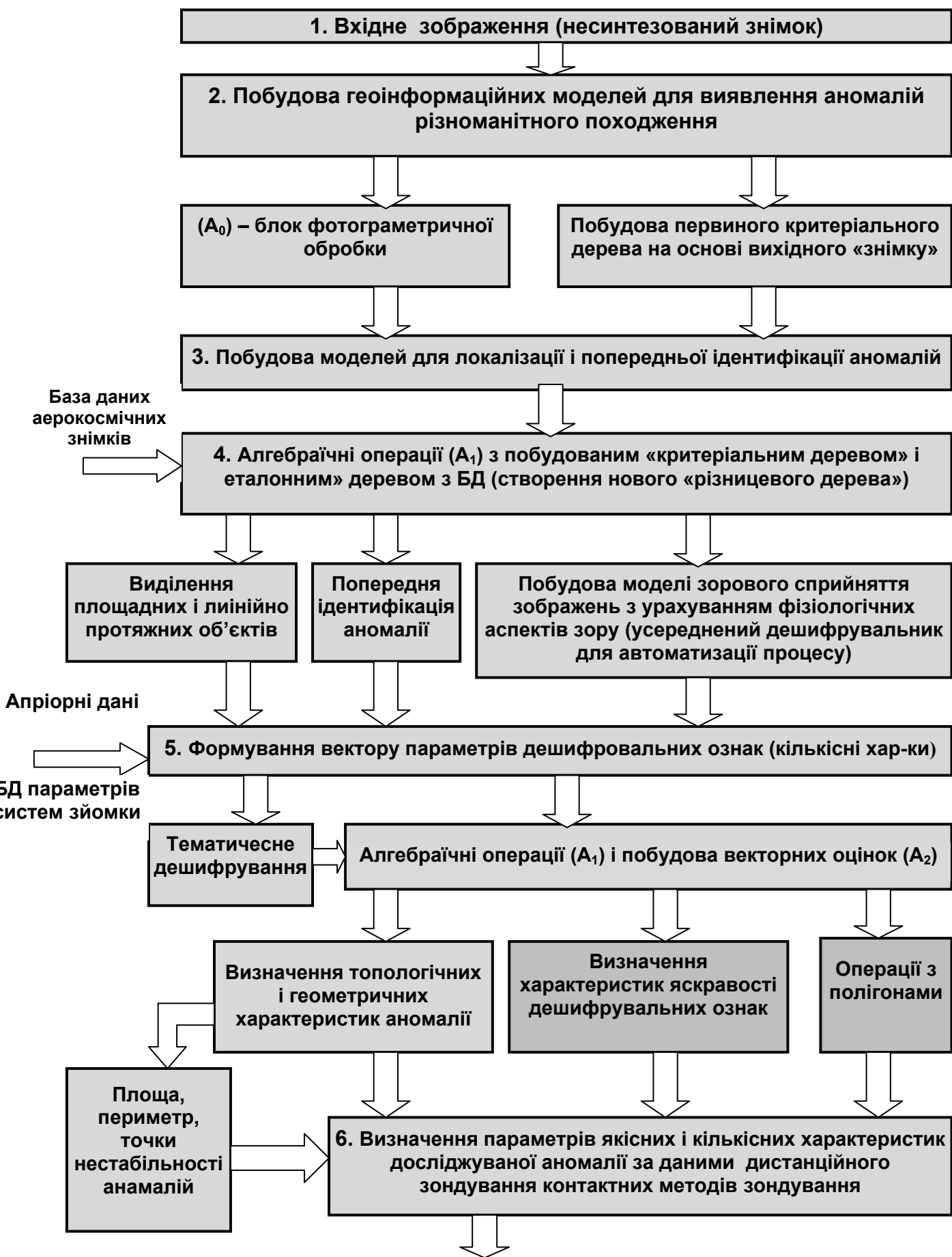


Рис.5.1 - Структурна схема обробки даних космічного моніторингу водних акваторій

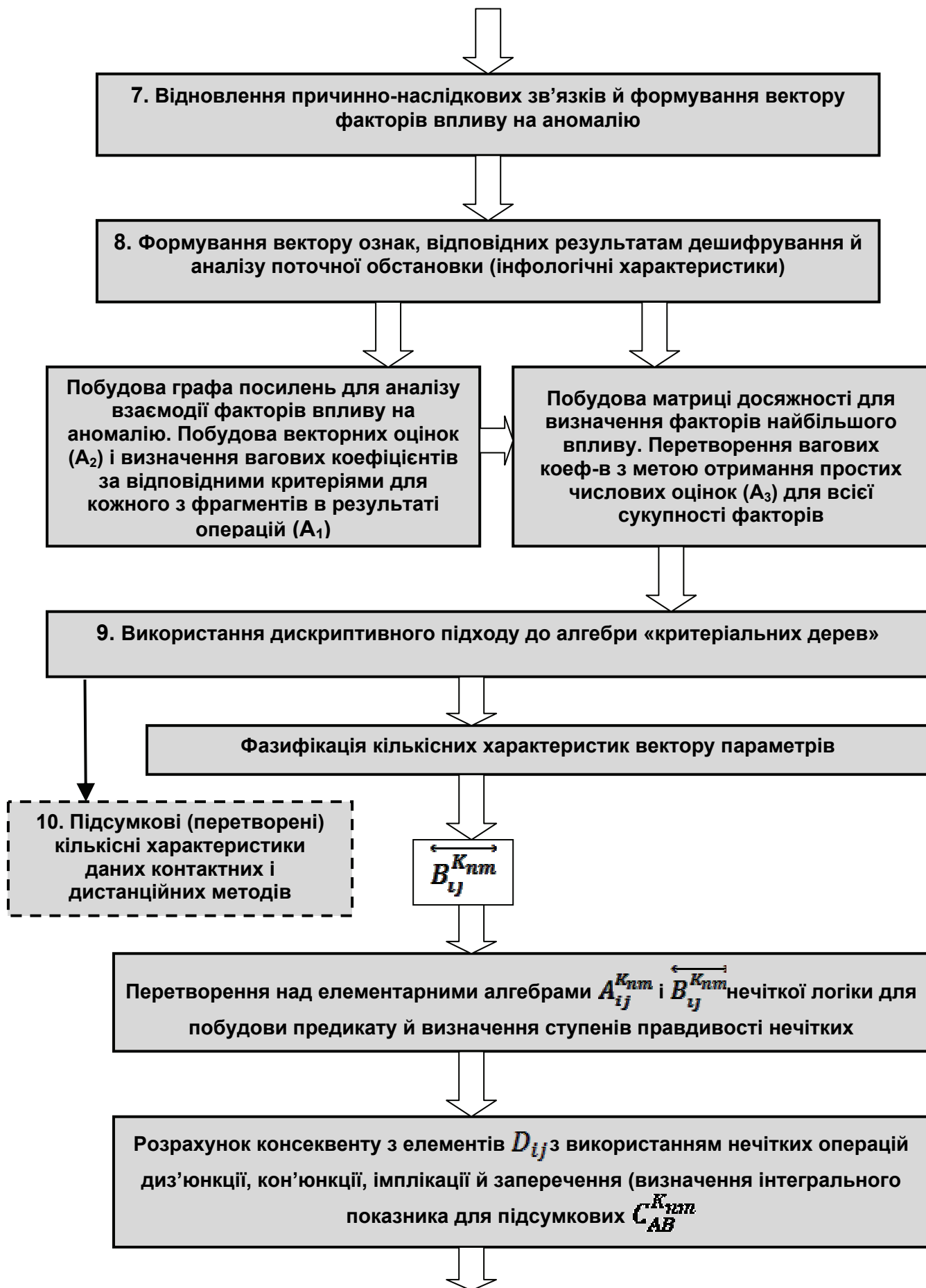


Рис.5.2 - Структурна схема обробки даних космічного моніторингу водних акваторій (продовження)

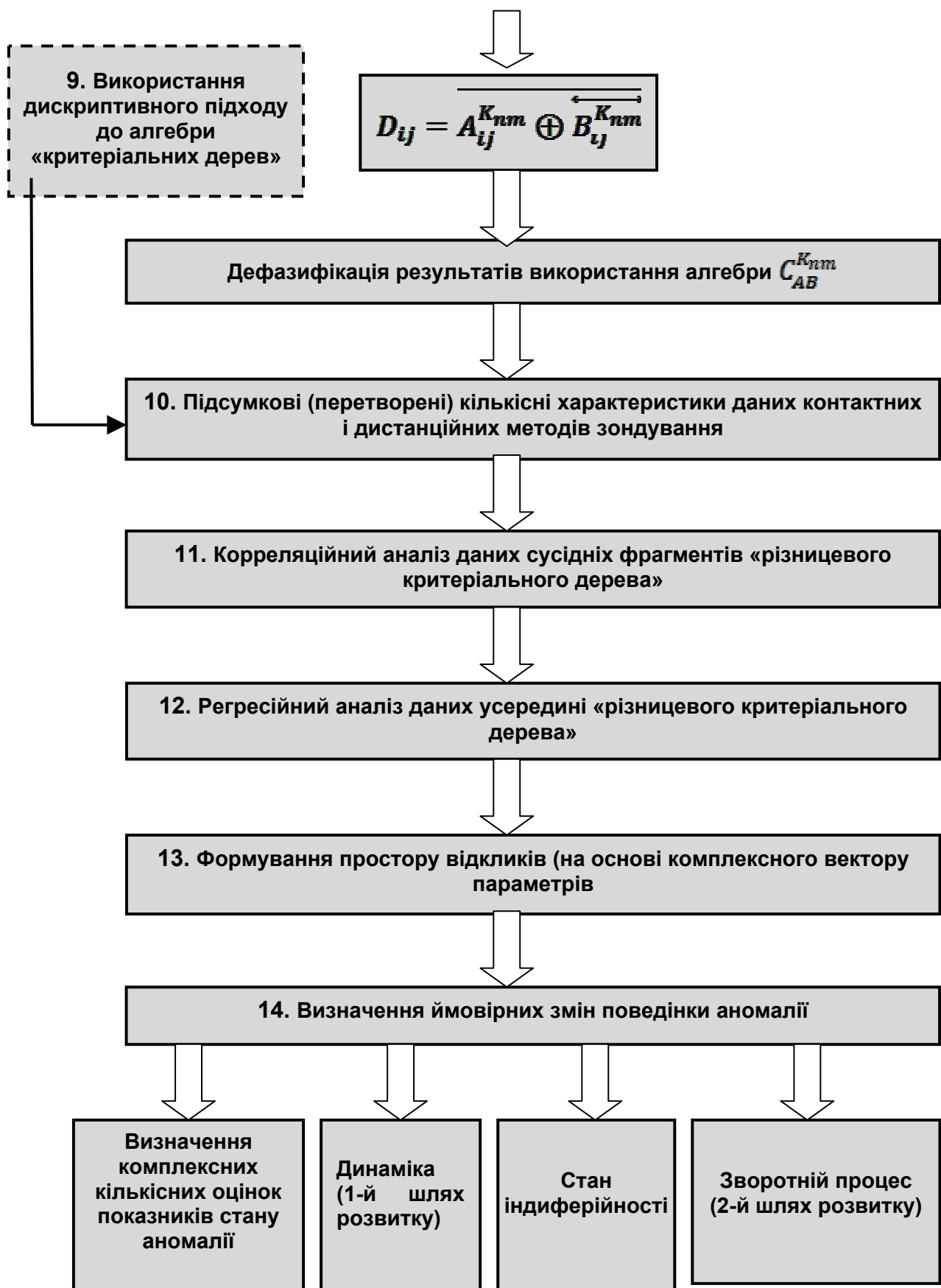


Рис.5.3 - Структурна схема обробки даних космічного моніторингу водних акваторій (продовження)

Не дивлячись на те, що всі знімки входять і зберігаються в базі даних і пройшли процедуру геометричної і радіометричної корекції, всі вони мають свої різні фотограмметричні характеристики, оскільки були одержані з різних висот і різною орієнтацією штучних супутників Землі (ШСЗ) з різними похилими кутами візування знімальної апаратури.

Тому необхідно додатково провести процедуру геоприв'язки при приведенні знімків до єдиного вигляду для проведення оверлейних операцій незалежно від джерела отримання даних. Перевагою геоприв'язаних знімків є можливість проведення різних геометричних і оверлейних операцій з побудованими на їх основі «критерійними деревами», і об'єднання даних космічної зйомки з іншими даними, визначеними на підставі географічної прив'язки до території, що аналізується [25,30,37]. Зокрема, можна об'єднувати дані, що були одержані у різний час з одного і того ж супутника, або дані, одержані різними системами дистанційного зондування.

Блок 2.1 Блок фотограмметричної обробки (A₀)

Для проведення фотограмметричної обробки спочатку необхідно провести аналітичну трансформацію поточного зображення в задану картографічну проекцію, в ході якого забезпечується географічна прив'язка космічних знімків, можливість вимірювань відстаней, кутів між напрямками, периметрів, площ тощо. Іншими словами, всі аналізовані зображення повинні бути приведені до єдиного масштабу і трансформовані в єдину для всіх зображень проекцію. Завдання географічної прив'язки повинне бути основою для подальшого переходу від системи географічних координат в прямокутну систему, а потім в екранну.

На першому етапі здійснюється приведення знімків до єдиного масштабу, єдиній системі координат і встановлення кількісних характеристик спотворень, які викликані як зовнішніми, випадковими причинами, так і геометрією побудови зображення [27, 36]. Для встановлення математичних залежностей, що виражають основні геометричні властивості одиночного знімка, використовуються формули взаємозв'язку координат точок на довільному знімку з координатами відповідних точок на умовному горизонтальному знімку і координатами цих же точок на місцевості [27].

Оскільки по умові розглядається ділянка морської поверхні, що має неоднорідний характер, але з погляду перепадів висот практично горизонтальний, причиною зміни масштабу знімка є як задані, так і випадкові відхилення осі знімальної апаратури від вертикального положення. У загальному випадку масштаб змінюється не тільки при переході від однієї точки знімка до іншої, але і при зміні напрямку в одній і тій же точці. Таким чином, масштаб знімку в різних його точках можна визначити за відомою формулою [27]

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} K^2 \left[(K \cos \varphi + c \sin \varphi)^2 + \sin^2 \varphi \right]^{-\frac{1}{2}},$$

$$\text{где } K = \cos \alpha - \frac{y}{f} \sin \alpha; \quad c = \frac{x}{f} \sin \alpha$$

де K , - постійні величини для даної точки фотознімку;

f – фокусна відстань;

φ – кут напрямку на знімку, пов'язаний з відповідним кутом на місцевості ψ

$$\text{співвідношенням } \operatorname{tg}(\varphi - \psi) = \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot [f \cos \alpha + (x \operatorname{tg} \varphi - y) \sin \alpha] - f}{f \cos \alpha + (x \operatorname{tg} \varphi - y) \sin \alpha + f \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi}$$

α – кут нахилу знімка (відхилення оптичної осі від вертикального положення);

x, y – координати точки знімка, по напрямленню з якої визначається значення масштабу.

У разі, коли кут нахилу знімка незначний, для визначення масштабу в довільній точці використовується формула

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} \left\{ 1 - \frac{\alpha}{f} \left[y(1 + \sin^2 \varphi) + \frac{1}{2x} \sin 2\varphi \right] \right\}.$$

Зсув точки на знімку δN , його нахил можна компенсувати за допомогою співвідношення

$$\delta_N = - \frac{r^2 \sin \varphi \sin \alpha}{f - r \sin \alpha \sin \varphi}$$

r – радіус-вектор, який точку нульових спотворень з довільною точкою похилого знімка.

Для проведення подальшої фотограмметричної обробки необхідно знати параметри, які визначають положення площини знімку відносно центру проєкцій S , (елементи внутрішнього орієнтування), до яких відносяться координати головної точки фотознімку x_0, y_0 і фокусна відстань об'єктиву фотоапарата f , і параметри, що визначають положення фотознімку в просторі у момент фотографування в загальній системі координат на місцевості, (елементи зовнішнього орієнтування) до яких відносяться X_s, Y_s, Z_s – координати точки фотографування; α – подовжній кут нахилу фотознімку; ω – поперечний кут нахилу фотознімку; χ – кут повороту знімка.

Наближені значення елементів зовнішнього орієнтування характеризуються невисоким ступенем точності і вказані в коментарях до знімка, або на підставі вказаних інших параметрів про рух космічного апарату легко виходять з елементарних геометричних обчислень.

Завдання прив'язки характерних (вузлових) і пов'язуючих точок знімка до координат опорних точок на місцевості здійснюється за принципом аналітичної трансформації, що полягає в обчисленні координат точок горизонтального знімка по вимірних координатах похилого знімка.

При заданих елементах орієнтування і потім при повторних ітераціях при елементах орієнтування, які були уточнені, матриці поворотів на кожний з кутових елементів зовнішнього орієнтування наступні:

При повороті знімка на кут ω [25, 27]

$$\mathbf{A}_\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix};$$

При повороті знімка на кути α і χ

$$\mathbf{A}_\alpha = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{A}_\chi = \begin{bmatrix} \cos \chi & -\sin \chi & 0 \\ \sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Загальна матриця поворотів виходить послідовним перемножуванням матриць окремих поворотів

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_\alpha \mathbf{A}_\omega \mathbf{A}_\chi$$

В результаті послідовного перемножування матриць $\mathbf{A}_\alpha$, $\mathbf{A}_\omega$ и $\mathbf{A}_\chi$, знаходяться значення направляючих косинусів для системи поворотів на кути α , ω , χ , похилого знімка при перетворенні його в горизонтальний:

$$\begin{cases} a_1 = \cos \alpha \cos \chi - \sin \alpha \sin \omega \sin \chi \\ a_2 = -\cos \alpha \sin \chi - \sin \alpha \sin \omega \cos \chi \\ a_3 = -\sin \alpha \cos \omega \\ b_1 = \cos \omega \sin \chi \\ b_2 = \cos \omega \cos \chi \\ b_3 = -\sin \omega \\ c_1 = \sin \alpha \cos \chi + \cos \alpha \sin \omega \sin \chi \\ c_2 = -\sin \alpha \sin \chi + \cos \alpha \sin \omega \cos \chi \\ c_3 = \cos \alpha \cos \omega \end{cases}$$

При малих значеннях кутів α , ω , χ , коли залежності розкладаються в ряд Тейлора, значення кутів $\alpha\theta$, ω , χ приймають наступні наближені значення:

$$\begin{array}{lll} a_1 \approx 1; & a_2 \approx -\chi; & a_3 \approx -\omega; \\ b_1 \approx \chi; & b_2 \approx 1; & b_3 \approx -\alpha; \\ c_1 \approx \omega; & c_2 \approx \alpha; & c_3 \approx 1. \end{array}$$

У матричній формі запису розглянуті вирази можна представити як [25]:

$$\|\mathbf{A}\| = \begin{bmatrix} x'_t \\ y'_t \\ z'_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix};$$

$$\|\mathbf{A}\|^T \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x'_t \\ y'_t \\ z'_t \end{bmatrix};$$

де x'_t, y'_t, z'_t - координати точки трансформованого знімка;
 x, y, z – координати точки знімка.

Для обчислення поправок до заданих елементів орієнтування використовуються формули, що виражають залежність між координатами x і y точки знімка і координатами X, Y, Z стосовно відповідної точки місцевості:

$$\left. \begin{aligned} x - x_0 &= -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)}; \\ y - y_0 &= -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \end{aligned} \right\}$$

де x_0, y_0 - координати головної точки фотознімку;

a_i, b_i, c_i - напрямляючі косинуси:

Оскільки наближені значення елементів орієнтування знімка відомі, то координати x і y зображення опорних точок на знімку легко обчислюються за даними формулами і позначаються через (x) і (y) . Очевидно, що обчислені координати відрізнятимуться від вимірних. Позначаючи виправлення до наближених значень елементів орієнтування через $\delta v, \delta \sigma, \delta z, \delta \alpha, \delta \omega, \delta \chi, \delta f, \delta x_0$ і δy_0 і вважаючи, що маємо вимірювання, складемо рівняння виправлень

$$\begin{aligned} (x) + \frac{\partial x}{\partial X_s} \delta X_s + \frac{\partial x}{\partial Y_s} \delta Y_s + \frac{\partial x}{\partial Z_s} \delta Z_s + \frac{\partial x}{\partial \alpha} \delta \alpha + \frac{\partial x}{\partial \omega} \delta \omega + \frac{\partial x}{\partial \chi} \delta \chi + \frac{\partial x}{\partial f} \delta f + \frac{\partial x}{\partial x_0} \delta x_0 + \frac{\partial x}{\partial y_0} \delta y_0 - x &= v; \\ (y) + \frac{\partial y}{\partial X_s} \delta X_s + \frac{\partial y}{\partial Y_s} \delta Y_s + \frac{\partial y}{\partial Z_s} \delta Z_s + \frac{\partial y}{\partial \alpha} \delta \alpha + \frac{\partial y}{\partial \omega} \delta \omega + \frac{\partial y}{\partial \chi} \delta \chi + \frac{\partial y}{\partial f} \delta f + \frac{\partial y}{\partial x_0} \delta x_0 + \frac{\partial y}{\partial y_0} \delta y_0 - y &= v' \end{aligned}$$

Одна опорна точка дає два рівняння з дев'ятьма невідомими і вагами p і p' вимірних величин x і y . Отже, для вирішення завдання необхідно не менше п'яти опорних точок.

Рівняння розв'язуються за умови $[pv^2 + p'v'^2] = \min$ методом послідовних наближень. Обчислення продовжують до тих пір, поки виправлення стануть менше допустимого значення. Якщо елементи внутрішнього орієнтування вказані в коментарях до знімка, то в рівняннях будуть тільки шість невідомих, для визначення яких необхідно мати не менше трьох опорних точок.

Особливо слід відмітити, що для збереження дешифрувальних ознак загальноприйняті методи трансформації фотознімків не були використані. «Критерійні дерева» повинні будуватися по географічних координатах, а інформація про гомогенність витягуватися безпосередньо з не трансформованих знімків [25, 30].

Після уточнення елементів внутрішнього і зовнішнього орієнтування, перерахунок прямокутних координат в географічні і навпаки проводиться чисельними методами [51]. Для переходу використовуються скорочені формули обчислень в 2-градусній зоні. В цьому випадку приймається допущення про те, що Земля береться за кулю з радіусом кривизни першого вертикалу - N . Застосовуючи при висновку метод розкладання тригонометричних функцій в ряди, і обмежуючись двома членами ряду, формули для переходу мають наступний вигляд

$$x = X + \frac{Nl''^2}{2\rho''^2} \sin B \cos B + \frac{Nl''^4}{24\rho''^4} \sin B \cos^3 B (5 - \operatorname{tg}^2 B),$$

$$y = \frac{l''}{\rho''} N \cos B + \frac{l''^3}{6\rho''^2} N \cos^3 B (1 - \operatorname{tg}^2 B),$$

де X - довжина дуги меридіана від екватора до паралелі з широтою B (довжини дуг меридіана від екватора до паралелей з будь-якими широтами обчислюються наперед або беруться готовими таблиць Гаусса-Крюгера);

$l = L - L_0$ - різниця довгот між меридіаном із заданою точкою L і осьовим меридіаном;

N - радіус кривизни першого вертикала в на поверхні сфери широтою B і довготою L (береться з таблиць Гаусса-Крюгера або обчислюється)

ρ'' - поправка із-за переходу до секунд (табличне значення).

При роботі з координатами в системі Гаусса-Крюгера масштаб зображень повинен бути приведений до масштабу в проекції Гауса. При цьому враховується, що дана проекція конформна, отже, масштаби по головних напрямках (головні напрями співпадають з напрямками, паралельними сфероїдичним осям координат, а в проекції - напрямками, паралельними осям координат x і y) повинні бути рівні, тобто $m=n$. Таким чином

$$m = n = \frac{1}{1 - \frac{y^2}{2N^2} + \frac{y^4}{24N^4}} = 1 + \frac{y^2}{2N^2} + \frac{5y^4}{24N^4}.$$

Зворотні формули переходу виглядають таким чином. Оскільки відома абсциса x точки для якої необхідно знайти B і L , то з таблиць Гаусса-Крюгера можна визначити широту точки на відстані сферичного перпендикуляра - B_f .

$$(B_f - B)'' = \frac{y^2}{2M_f N_f} \rho'' \operatorname{tg} B_f \left[\begin{aligned} &1 - \frac{y^2}{12N_f^2} (5 + 3\operatorname{tg}^2 B_f + \eta_f^2 - 9\eta_f^2 \operatorname{tg}^2 B_f) + \\ &+ \frac{y^4}{360N_f^4} (61 + 90\operatorname{tg}^2 B_f + 45\operatorname{tg}^4 B_f) \end{aligned} \right],$$

де e - 1-й ексцентриситет

M_f - радіус кривизни меридіана для довготи L_f (береться з таблиць по значенню довготи L_f (f - сферичний перпендикуляр, відновлений в точці з відомими координатами x і y)).

Шукана широта B методом наближень обчислюється за формулою

$$B = B_f - (B_f - B).$$

$$l'' = \frac{y}{N_f \cos B_f} \rho'' \left[1 - \frac{y^2}{6N_f^2} (1 + 2\operatorname{tg}^2 B_f + \eta_f^2) + \frac{y^4}{120N_f^4} (5 + 28\operatorname{tg}^2 B_f + 24\operatorname{tg}^4 B_f + 6\eta_f^2 + 8\eta_f^2 \operatorname{tg}^2 B_f) \right] \quad (5.1)$$

Шукана довгота визначається за формулою

$$L = L_0 + l \quad (5.2)$$

де L_0 - довгота осьового меридіана зони.

Проте, при реалізації запропонованого методу виникає ряд складнощів, які пов'язані з джерелами отримання інформації, а саме, коли запрошувані

знімки представляються в синтезованому вигляді. Перш за все, складність обумовлена відсутністю ряду апріорних даних, що вказуються в коментарях до знімків, таких як: висота польоту космічного апарату, елементи внутрішнього і зовнішнього орієнтування, що дозволяють відновити зв'язку проектуючих променів тих, що існували у момент фотографування.

Таким чином, при трансформації знімка для його перетворення в екранну систему координат в заданій картографічній проекції пропонується виконати наступні операції - просторову інтерполяцію і інтерполяцію значень яскравості пікселів [32, 33, 36].

Просторова інтерполяція виконується по уточнених значеннях опорних точок в прямокутній системі координат в результаті фотограмметричної обробки, що була описаною вище з підгонкою методом найменших квадратів [32].

У загальному випадку така трансформація може бути описана за допомогою афінних перетворень з шістьма незалежними параметрами, які відповідають шести елементарним трансформаціям знімка, тобто зсув уздовж осі x , зсув уздовж осі y , зміні масштабу по кожній з цих осей, зсуви, що є паралельними межами знімка і повороту.

Математично це перетворення визначається по наступній формулі:

$$\begin{aligned}x' &= a_{0}^{*} + a_{1}^{*}x + a_{2}^{*}y \\ y' &= b_{0}^{*} + b_{1}^{*}x + b_{2}^{*}y\end{aligned}$$

де x і y — координати точки знімка в прямокутній системі координат;

x' y' — координати точки в екранній системі координат.

Для вирішення цієї системи рівнянь щодо коефіцієнтів a_{0}^{*} , a_{1}^{*} , a_{2}^{*} , b_{0}^{*} , b_{1}^{*} , b_{2}^{*} досить знати координати трьох опорних точок.

У реальних умовах може бути потрібна більша кількість точок, тому рішення системи рівнянь одержують за допомогою методу найменших квадратів, визначаючи для кожної точки середньоквадратичну помилку RMS по формулі:

$$RMS = \sqrt{(x' - x'')^2 + (y' - y'')^2}$$

де x_m' y_m' і x'' y'' — відповідно, початкові і розрахункові координати опорної точки в екранній системі координат.

В результаті, обчислюється сумарна середньоквадратична помилка визначення коефіцієнтів і виділення точки, яка має найбільший внесок в цю помилку.

Сумарну помилку порівнюють із заданим порогом точності прив'язки. У разі перевищення, опорну точку з максимальною помилкою виключають з розгляду, а коефіцієнти a_{0}^{*} , a_{1}^{*} , a_{2}^{*} , b_{0}^{*} , b_{1}^{*} , b_{2}^{*} розраховують. Відсів опорних точок може проводитися до тих пір, поки їх кількість не зменшиться до трьох. Перетворення застосовується до всіх пікселів знімка.

На рис.5.4 представлений знімок, який є приведеним до географічних координат по вказаному алгоритму. Для порівняння він був накладений на векторну карту (рис.5.5).

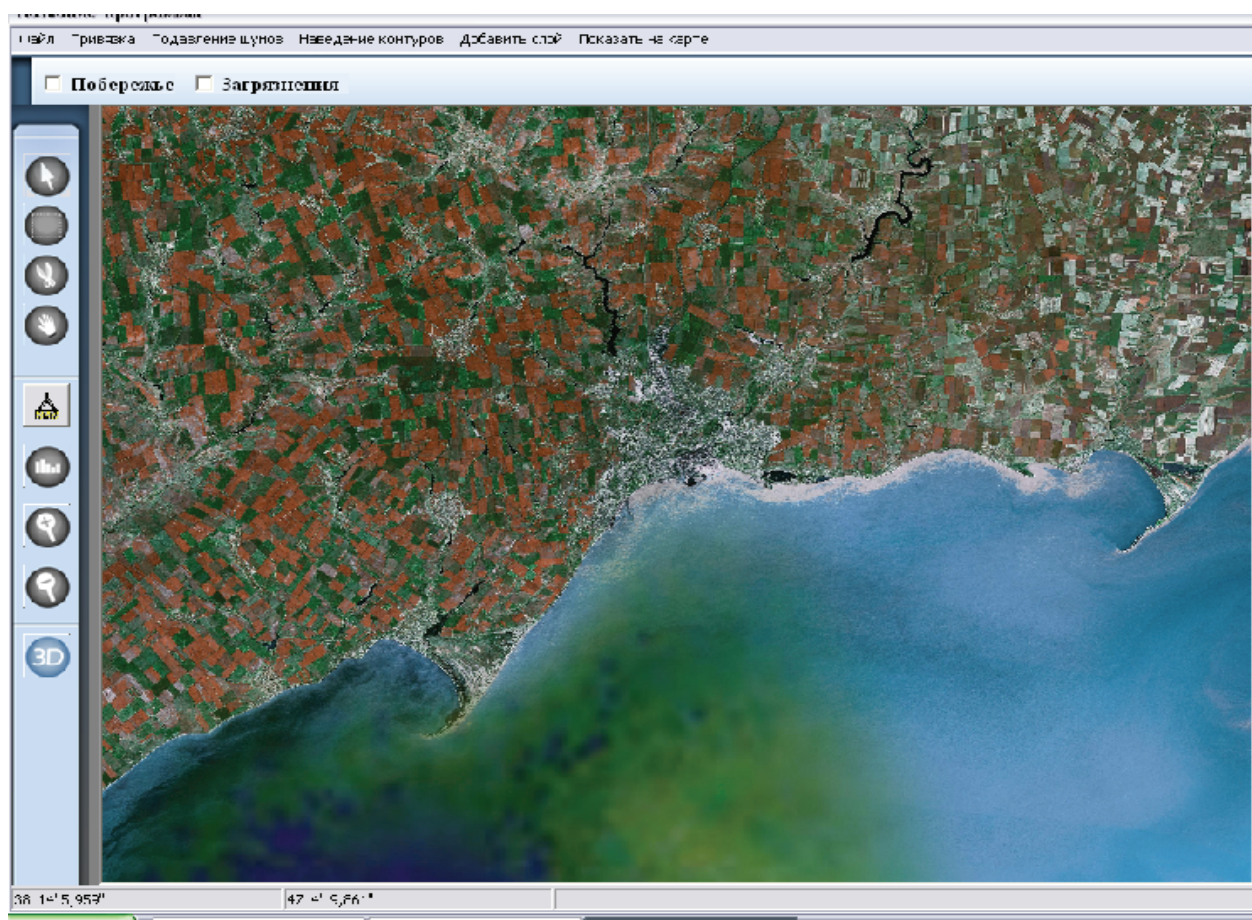


Рис. 5.4 - Знімок, приведений до географічних координат



Рис.5.5 - Результат накладання знімка на векторну карту

Наступним етапом є інтерполяція значень яскравості, тобто перерахунок яскравості пікселів початкового знімка в яскравість пікселів трансформованого (етап повторної дискретизації).

Повторну дискретизацію можна проводити одним з трьох методів: методом «найближчого сусіда», методом білінійної інтерполяції або методом кубічної конволюції. Використання другого і третього методів дозволяють одержувати дуже чіткі знімки, на яких відсутня структура, що частково виявляється при використанні методу «найближчого сусіда». Проте з урахуванням подальшої побудови «критерійних дерев», однією з властивостей якого є рівень гомогенності в кожному з його фрагментів, найбільш доцільним є використання методу «найближчого сусіда» [32, 33, 35].

Блок 2.2 Побудова критерійного дерева на основі початкового «знімка»

У основі пропонованої методології лежить механізм ефективної побудови ряду моделей для виявлення, локалізації і ідентифікації аномалій різного походження при підготовці даних до побудови прогнозу розповсюдження виявлених змін [25, 31, 36]. Оскільки пропонується проводити детальний аналіз знімків однієї і тієї ж території через певний період часу, то пропонується проводити обробку і аналіз даних зображень на основі їх ієрархічної побудови у вигляді «критерійного дерева» і порівняльного аналізу початкового знімка з еталонним і зі всіма подальшими знімками за принципом віднімання і геометричного аналізу «критерійних дерев».

На відміну від розбиття за Мортеном пропонується розбиття знімка на фрагменти з їх послідовною індексацією до тих пір, поки усередині фрагмента не буде досягнутий рівень гомогенності [38]. Таким чином, відбувається рекурсивне розбиття негомогенних фрагментів до тих пір, поки стануть гомогенними всі фрагменти. В результаті виходить адаптивний дозвіл растрового зображення, де ділянки з меншою щільністю інформації представлені крупними блоками осередків, а з більшою щільністю – дрібними блоками осередків.

Як критерії розбиття використовуються ознаки, що мають різні пріоритети, згідно яким у відповідність кожному з фрагментів ставляться вагові коефіцієнти з інтервалу від 0 до 1. Кожному фрагменту, що є елементом певної зони привласнюється свій власний атрибут відповідно до вірогідності попадання в найбільш небезпечну зону і кожному вузлу зони свій просторовий індекс. Мінімальний елемент розбиття надалі іменуватиметься як критерійний елемент, тобто елемент розбиття, залежний від найбільшої кількості чинників розбиття, що є явно і неявно вираженими [25, 31].

В результаті такої обробки вихідними даними є тематичні картосхеми досліджуваних ділянок місцевості або акваторій, що відображають локалізацію аномалій і просторовий розподіл показників, що характеризують екологічний стан аномалій або антропогенну дію на них, локалізацію аномалій і виділення меж областей з однорідними значеннями.

Таким чином, побудоване «критерійне дерево» є початковим зображенням у вигляді сегментів (зв'язних підмножин, що характеризуються порівняно однорідними значеннями яких-небудь параметрів).

Блок 3 Побудова моделей для локалізації і попередньої ідентифікації аномалій

При побудові моделей на основі «критерійних дерев» для локалізації і попередньої ідентифікації аномалій, можна використовувати різні існуючі методи. Для цього, необхідно досягти рівня гомогенності. Найбільш простим є метод сегментації яскравості, при якому параметрами, що використовуються для виділення сегментів, є зональні яскравості зображення в різних каналах зйомки F_i $i=1..n$, де n – кількість каналів зйомки [34]. При панхроматичній зйомці застосовується один параметр F – яскравість зображення. Можливо також використання у якості параметрів деяких функцій від зональних яскравостей $\varphi(F_1, F_n)$. Наприклад, при сегментації двоканальних зображень часто застосовується функція φ , яка є рівною відношенню зональних яскравостей $\frac{F_1}{F_2}$; для панхроматичних зображень – метод віднімання яскравості найбільш темного пікселя F_0 : $\varphi(F)=F-F_0$ і т.д. Також є можливою сегментація за формалізованими ознаками текстури або градієнтна сегментація (за формалізованими ознаками швидкості зміни яскравості).

Таким чином множина параметрів зображення є набором значень $x_1, x_2, \dots, x_n$ (надалі іменований як вектор параметрів зображення). Для випадку, коли розглядаються тільки ознаки яскравості $x_1, x_2, \dots, x_n$, то розглядаються зональні яскравості в кожному каналі зйомки.

Процес автоматичної сегментації зображень може здійснюватися одним з трьох основних способів [33,34,37,52]. У першому випадку використовуються методи кластеризації даних. У другому виявляються перепади значень параметрів сегментації (відповідно до встановлених критеріїв при побудові «критерійних дерев»), які є відповідними межам між сегментами, що виділяються, і контурна сегментація. У третьому – об'єднання сусідніх елементів зображення з схожими значеннями вектора параметрів (нарощування областей) для уточнення меж зони, яка аналізується.

При використанні кластеризації даних, множина параметрів зображення, що характеризуються набором $x_1, x_2, \dots, x_n$, розглядається як вектор - ознак, що розпізнають $\vec{x}(x_1, \dots, x_n)$.

В рамках такого підходу сегментація зображень розглядається як побудова класифікатора елементів зображення за відсутністю повчальних послідовностей (розпізнавання без вчителя).

При використанні першої групи алгоритмів сегментації зображень використовуються алгоритми, які засновані на мінімізації або максимізації обраного критерію якості кластеризації, наприклад, алгоритми, в яких використовують методи k -середніх і динамічних згущувань. Звичайно,

критерій кластеризації J використовують як суму квадратів відхилень вектора ознак від середніх по класах векторів:

$$J = \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{\vec{x} \in S_j} |\vec{x} - \vec{m}_j|^2 \quad (5.3)$$

де N_s – кількість виділених сегментів;

S_j – множина елементів зображення, що відносяться до сегменту з номером j ;

$\vec{m}_j$ – середній для даного сегменту вектор параметрів.

Окрім критерію (5.1) можливо використання внутрікласової і міжкласової дисперсії, матриць розсіювання і ін.

Алгоритм k -середніх, використовуючий критерій (5.1) є ітеративною процедурою, що включає:

1) вибір k -начальних наближень до центрів сегментів, що виділяються $\vec{m}_j^1$, $j=1, k$;

2) розбиття елементів зображення на k -сегментів за ознакою мінімальної відстані вектора $\vec{x}$ від середнього по сегменту вектора:

$$\vec{x} \in S_j^n \quad \text{якщо} \quad (5.4)$$

де $\vec{m}_j^n, \vec{m}_i^n$ – наближення центрів сегментів на кроці ітерації з номером n , і j, i ;

3) визначення нових центрів сегментів по формулі

$$\vec{m}_j^{n+1} = \frac{1}{N_j^n} \sum_{x \in S_j^n} \vec{x} \quad (5.5)$$

де m - кількість елементів в j -м сегменті на кроці ітерації n . Якщо, $m=n$, то виконання процедури припиняють; інакше переходять до етапу 2. При цьому виконання пункту 3 є мінімізацією критерію (5.1).

Проте, використання даного алгоритму в чистому вигляді має недолік - результати сегментації залежать від послідовності проглядання елементів зображення, вектора початкових наближень центрів сегментів, кількості сегментів, що виділяються. Тому доцільним є використання алгоритму ICOMAD (Ітеративний Метод Аналізу Даних, що Самий-організовується; англійська аббревіатура: ISODATA - Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques), алгоритму k -середніх, що дозволяють регулювати кількість сегментів, що виділяються, залежно від проміжних результатів сегментації. Для регулювання кількості сегментів, які виділяються, в алгоритмі задають наступні критичні параметри:

N_{min} – мінімальна кількість елементів зображення в сегменті;

Σ_{max} - максимальне середньоквадратичне відхилення компонентів вектора $\vec{x}$ в сегменті;

D_{min} – мінімальна відстань між центрами сегментів, що були виділені і деякі інші параметри. Якщо після чергового кроку ітерації середньоквадратичне

відхилення якого-небудь компоненту вектора $\vec{X}$ в сегменті з номером j перевищує значення $\sigma_{\max}$, а також при виконанні деяких інших умов, сегмент розщеплюється на два нові сегменти. Якщо ж для двох сегментів з номерами i, j виконується умова, то (а також при виконанні також деяких інших умов) ці сегменти об'єднуються. Додатково сегменти можуть об'єднуватися у разі, коли виділений сегмент включає недостатню кількість елементів зображення ($N_j < N_{\min}$).

На відміну від алгоритму k -середніх, застосування при сегментації алгоритму динамічних згущувань за допомогою кластеризації, визначає центри класів вектора $\vec{m}_j$, що виділяються, як вектора з j -го класу.

Сума відстаней від даного вектора до решти векторів даного класу при цьому мінімальна.

Такий спосіб визначення центрів класів забезпечує відсутність порожніх класів, що не містять жодного [33, 34, 37, 53] вектора і збільшує тим самим швидкодію.

Як міра схожості в розглянутих алгоритмах можуть бути використані евклідова матриця, або кутова відстань між векторами $\vec{x}_1$ і $\vec{x}_2$ для випадку угруповання даних уздовж ліній в просторі ознак $S(\vec{x}_1, \vec{x}_2)$:

$$S(\vec{x}_1, \vec{x}_2) = \frac{\vec{x}_1 \vec{x}_2}{|\vec{x}_1| * |\vec{x}_2|}, \quad (5.6)$$

При використанні другої групи алгоритмів використовується аналіз гістограми ознак, що заснований на методах виділення мод гістограми.

Як указувалося вище, «критерійні дерева» будуються на основі теорії графів з використанням принципу, який є аналогічним принципу сканування Мортон. Оскільки космічні знімки мають великий об'єм елементів зображення, результатом сегментації буде «критерійне дерево» у вигляді гіперграфової структури - результат застосування розглянутих вище алгоритмів. Результати сегментації представляються у вигляді, коли кожному гомогенному фрагменту привласнюється свій окремий код відповідно до деякого набору правил (критеріїв), що визначає його приналежність до однієї з гілок «критерійного дерева». Задані критерії дозволяють ідентифікувати приналежність аналізованого фрагмента зображення до того або іншого класу об'єктів. Для цього при виділенні сегментів зображення необхідно визначати не тільки їх центри, але також і межі. Реалізація такого підходу дозволяє отримати набір правил, що визначають сегментацію на невеликому фрагменті, а потім використовувати ці правила для всього знімка або сукупності знімків. Такий підхід дозволяє значно скоротити час обробки і заощадити оперативну пам'ять.

Додатково, при сегментації необхідно проводити оцінку проміжних результатів сегментації. Оцінка може проводитися на основі аналізу відстаней між центрами сегментів, внутрішньо сегментних дисперсій і інших кількісних критеріїв, а також за допомогою зв'язності підмножин елементів зображення, що виділяються, і відповідності локалізації об'єктів, що виділяються при сегментації, інформації, яка є заданою априорно.

Оскільки при аналізі зображень для подальшої побудови прогнозу можливого розповсюдження виявленої і локалізованої аномалії розглядаються не тільки дані дистанційного зондування Землі, але і дані контактних методів, картографічні і інфологічні характеристики зони досліджень, то найбільш доцільним є використання оцінок, заснованих на зв'язності.

При локалізації об'єктів, що є виявленою на космічному знімку аномалією на поверхні моря доцільно використовувати алгоритми другої групи. Ці алгоритми найпростіше реалізуються у разі панхроматичних зображень, а також в тих випадках, коли для вирішення якого-небудь тематичного завдання застосовують обробку тільки одного з каналів зйомки або послідовну обробку окремих каналів. Зокрема, при тематичній обробці двоканальних зображень акваторій на першому етапі обробки проводиться виділення на зображенні класів "вода" і "суша". Для цього, як правило, досить використовувати тільки один канал зйомки в ближньому ІК-діапазоні. На наступних етапах обробки для виділення різних неоднорідностей в межах підмножини елементів застосовують другий канал зйомки видимого діапазону (стосовно морських акваторій). У даних випадках функція розподілу частот різних значень параметрів зображення $f(x)$ є одновимірною, що полегшує її аналіз, зокрема, межі між сегментами, що виділяються, можуть бути вказані в графічному режимі безпосередньо на графіку функції $f(x)$.

Якщо $f(x)$ є багатомодальною функцією, то для визначення меж різних сегментів, як правило, використовують метод виділення мод гістограми, тобто межі між сегментами встановлюються відповідно до локальних мінімумів гістограми, і кожний з виділених сегментів відповідає одній з мод функції $f(x)$. При аналізі радіолокаційного зображення морської акваторії, що забруднена нафтопродуктами, гістограма фрагмента є трьохмодальною, тобто кластер з меншими значеннями УЕПР (ліва мода) відповідає слику, який обумовлений забрудненням; кластер з великими значеннями УЕПР (середня мода) відповідає чистій воді; кластер, пов'язаний з правою модою (найбільші значення УЕПР), відповідає винуватцю забруднення (віддзеркалення від металовмісних конструкцій обумовлює високі значення УЕПР, наприклад, танкер). Таким чином, вибір значень УЕПР, що є відповідними локальним мінімумам гістограми, дозволяє на радіолокаційних зображеннях морських акваторій виділяти різні об'єкти, зокрема ділянки акваторії, які забруднені нафтопродуктами.

При аналізі космічних знімків акваторій, одержаних в оптичному діапазоні, метод виділення мод функції розподілу частот використовується тільки для розділення класів "вода" і "суша" по гістограмі, яка, як правило, є двохмодальною.

На двовимірній гістограмі дані групуються уздовж прямої лінії, і не існує тісної кореляції між значеннями параметрів в різних каналах зйомки, тому обробка зображення обмежується тільки в одному з каналів, що є корельованими, оскільки дані іншого каналу не несуть додаткової інформації.

Проте, оскільки при автоматизації процесу графічний аналіз гістограм (для функцій розподілу з розмірністю, яка є більшою ніж два) неможливий, необхідно використовувати аналітичні методи виділення мод, що були розглянуті в роботах [53 - 55].

Для аналізу даних, що мають якісні, а не кількісні характеристики доцільно використовувати третю групу алгоритмів, в яких елементи зображення представляються вершинами неорієнтованого графа образів. В цьому випадку при побудові графа образів вершини з'єднуються ребром, якщо між ними існує деяке задане відношення. При роботі з кількісними характеристиками дві вершини зв'язуються ребром у разі схожості відповідних їм образів вектора при перевищенні міри схожості заданої величини порогу або відповідного вагового коефіцієнта. Проте ці алгоритми доцільно використовувати при побудові внутрішнього «критерійного дерева», яке буде будуватися усередині виділеного фрагмента відносно всього зображення у вигляді гіперграфа. Кліки графа образів відповідають різним кластерам, тому для виділення різних кластерів можна скористатися якою-небудь процедурою пошуку кліков графа. Різні алгоритми пошуку кліков графа розглянуті в роботах [33, 36].

Усунення сукупності випадкових чинників пов'язане з необхідністю приведення знімків до єдиного вигляду, особливо це торкається різних станів об'єкту і особливостей місцевості, яка спостерігається у момент зйомки (наприклад, хвилювання морської поверхні, сильний вітер і ін.). Для цього необхідною є додаткова обробка знімків, яка направлена на усунення різних спотворень зображення.

Звичайно, вживана при обробці космічних знімків просторово-частотна фільтрація зображення полягає в розкладанні початкового зображення в спектр просторових частот, усуненні гармонік, обумовлених перешкодами, і зворотному перетворенні сигналу. Для розрахунку просторового спектру використовуються різні спектральні перетворення: Фур'є, Адамара, косинусів і ін. При цьому використовують алгоритми, що були спеціально розроблені, які зручно реалізуються на ЕОМ і скорочують час обчислень: швидке перетворення Фур'є (БПФ), швидке перетворення Адамара (БПА) і т.д. [33, 34]. Для усунення випадкових перешкод найчастіше застосовують низькочастотну фільтрацію. У цих цілях ряд евристичних алгоритмів, що забезпечують згладжування зображень, наприклад алгоритм медіанної фільтрації, усереднючі фільтри і ін. Для реалізації алгоритмів фільтрації початкове зображення обробляють ковзаючим вікном, форма і розміри якого визначаються характером і параметрами шумів, що усуваються [34, 37].

Проте, після такої обробки відбувається розмив меж, і у зв'язку з цим необхідними є додаткові операції по їх наведенню. Також віддаляються характерні дрібномасштабні ознаки, які не є пов'язаними з дефектами знімка, що ускладнює процес дешифровки. Необхідним є проведення додаткових процедур, що пов'язані не тільки з процесом усунення спотворень, але і з оцінкою мінімально помітних елементів на предмет визначення їх приналежності до досліджуваної аномалії. Для автоматизації даного процесу,

а також для усунення суб'єктивності людського чинника, який пов'язаний з наявністю оператора-дешифрувальника, створена функціональна модель зорового сприйняття з урахуванням фізіологічних аспектів зору [25].

Блок 4 Алгебраїчні операції (A_1), алгебри, з побудованим «критерійним деревом» і «еталонним» деревом з БД (створення нового «різницевого дерева»)

Блок 4.1 Блок визначення мінімально помітного критерійного елементу при локалізації змін на знімку (функціональна модель зорового сприйняття з урахуванням фізіологічних аспектів зору)

Для ефективнішого виділення об'єктів на космічних знімках необхідно враховувати атрибутивні властивості, які визначають їх якість. До таких властивостей відносяться результативність, оперативність і ресурсоемкість. Результативність характеризується інформативністю одержуваних даних. Як показник результативності вибрана потенційна виявлюваність, яка має сенс прогнозованої частоти або умовної вірогідності виявлення критерійного елементу спостережуваного об'єкту по його зображенню на знімку. Результативність вважається вищою в тому випадку, якщо на одержаному зображенні вище потенційна виявлюваність КЕ. Таким чином для виявлення мінімально помітного об'єкту або частини об'єкту, яка через ряд погрешностей на зображенні є малопомітною і ставиться питання про приналежність цієї частини безпосередньо до об'єкту, необхідно розглянути завдання статистичного розпізнавання. У класичному варіанті це завдання має наступний вигляд. По значенню деякої оцінки $\hat{z}$ поточного зображення відповідно до вирішального правила D ухвалюється рішення A про приналежність його до одного з двох класів: що містять або не містять КЕ. Показником якості функціонування системи, що такої розпізнає, вірогідність правильного виявлення КЕ [25, 56].

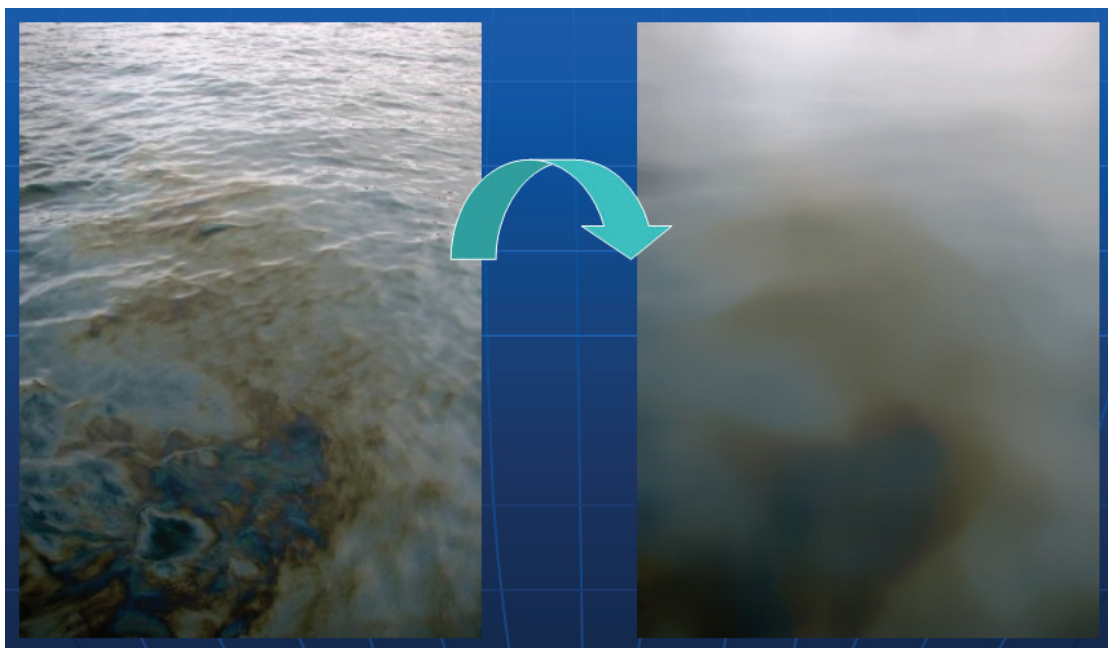
Моделювання процесу зорового сприйняття об'єкту з урахуванням фізіологічних аспектів зору зводиться до вибору такого алгоритму обчислення оцінки $\hat{z}$ і вирішального правила D , які б найбільш відповідали закономірностям зорового сприйняття зображення при дешифруванні.

Звичайно використовується підхід, який полягає в наступному. Як оцінка використовується відгук оптимального лінійного фільтру. Проте, при цьому передбачається, що оцінка $\hat{z}$ розподілена по нормальному закону. Тоді можна було б обчислити вірогідність правильного виявлення, використовуючи класичну формулу.

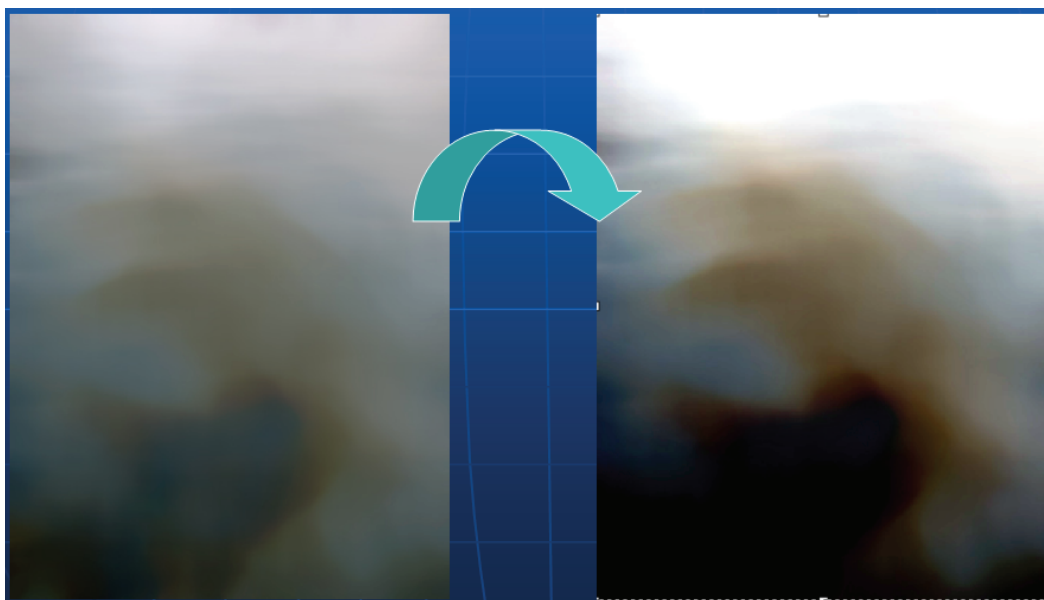
При всій простоті даного підходу він не може дати адекватну і повну оцінку і бути використаний для побудови моделі зорового сприйняття, оскільки необґрунтованими припущення про нормальний закон розподілу оцінки і шумів, з'являється невизначеність у виборі порогу Q , а також необумовлена незалежність дисперсії оцінки від факту наявності або відсутності критерійного елементу на зображенні.

Тому, найбільш доцільним є представлення зорової системи у вигляді оптимального приймача Зігerta – Котельникова. Для цього необхідно

додатково враховувати шуми зорового аналізатора і вибілюючого фільтру. Модель будується у декілька етапів [56].

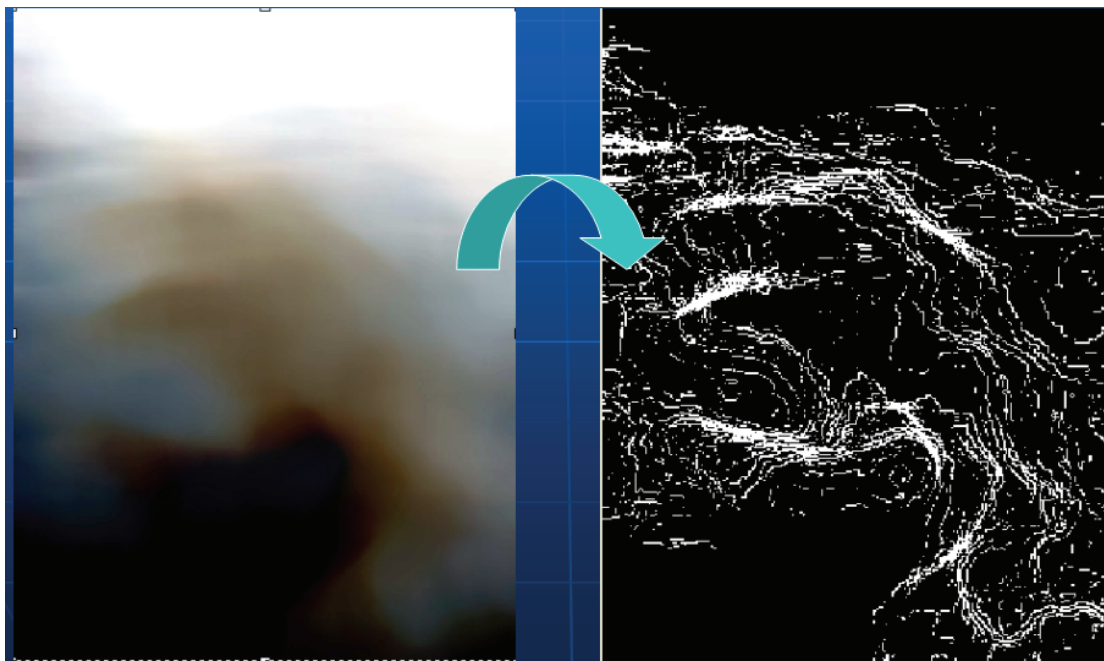


На першому етапі розглядається процес проходження випромінювання від спостережуваного об'єкту через оптичну систему ока, що включає рогівку, водянисте середовище, зіницю і кришталік. При цьому відбувається деяке розмиття зображення, яке при малих розмірах спостережуваного об'єкту (або його частини) можна вважати просторово інваріантним і описати двовимірним фільтром низьких частот з характеристикою, що визначається сферичною аберацією і дифракційними спотвореннями. Іншими словами відбувається формування зображення на ока.



На другому етапі сформоване оптичне зображення перетвориться в нейронний розподіл інтенсивності збудження нейронів. Це перетворення є нелінійним і визначається хімічними процесами у фоторецепторах. Зміни, що відбуваються при цьому із зображенням, моделюються шляхом його

поелементного перетворення нелінійною функцією, логарифмічною або статечною з показником $1/3$. При спостереженні малококонтрастних об'єктів, коли шуми можуть бути порівнянні з сигналом або не перевищують його рівня через високу гладкість даної функції, її нелінійність можна невраховувати, оскільки це не позначається помітно на значенні вірогідності виявлення.



Третій етап полягає в тому, що нейронне зображення в гангліозних клітках піддається перетворенню в результаті ефекту латерального гальмування, яке моделюється двовимірним просторовим фільтром високих частот (процес оконтурення).

Різкі зміни (розриви) яскравості, координат кольору або параметрів, що характеризують текстуру є важливими простими ознаками, оскільки вони часто визначають контури зображених об'єктів. Локальні розриви значень яскравості є перепадами, яскравості (контурами, яскравості).

У одновимірному випадку перепад характеризується висотою, кутом нахилу і координатою центру схилу. Перепад існує, якщо його кут нахилу і висота є більшими за деякого заданого порігу. Для двовимірного випадку важлива також орієнтація перепаду по відношенню до осі x . Ідеальний детектор перепаду при обробці областей зображення повинен вказувати на наявність перепаду в єдиній точці, яка розташована в центрі схилу. Початкове зображення представлене масивом чисел $F(j, k)$, піддається лінійній або нелінійній обробці з тим, щоб підсилити перепади яскравості. В результаті утворюється масив чисел $G(j, k)$, що описує зображення з підкресленими змінами яскравостей. Потім виконується операція порівняння з порогом і визначається положення елементів зображення з яскраво вираженими перепадами. Якщо

$$G(j, k) < T_l(j, k),$$

то має місце низхідний перепад, а при

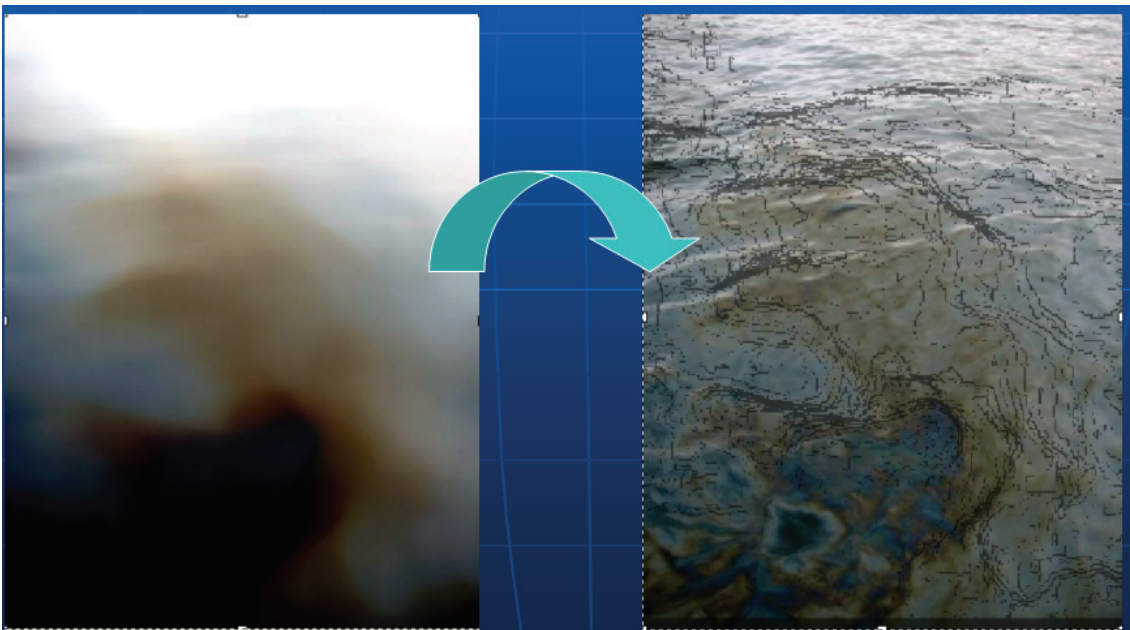
$$G(j, k) \geq T_u(j, k)$$

- висхідний перепад. Величини $T_L(j,k)$ і $T_u(j,k)$ є нижнім і верхнім пороговими значеннями. Ці значення можна зробити змінними в площині зображення для компенсації впливу сильних змін яскравості на результати виявлення перепадів.

Вибір порогу є одним з ключових питань виділення перепадів. При дуже високому рівні порогу не будуть виявленими структурні елементи з низьким контрастом. Навпаки, дуже низький рівень порогу з'явиться причиною того, що шум буде помилково прийнятий за перепад. Для позначення положення перепадів на зображенні часто формують контурний препарат - масив елементів $E(j, k)$. Наприклад, положення точок висхідних препаратів можна було б відзначати білими точками на чорному фоні. Можна також точки висхідних препаратів відзначати білим кольором, низхідних - чорним, а решта елементів зображення - деяким середнім рівнем яскравості.

Інший важливий підхід до виявлення перепаду полягає в апроксимації фрагмента реального зображення деяким ідеальним одно- або двовимірним перепадом. Якщо апроксимація виявляється достатньо точною, то вважається, що перепад існує, і йому приписуються параметри ідеального перепадах [57].

Четвертому етапу відповідає накладення адитивних шумів зорового сприйняття на зображення. Ці шуми мають рівномірний спектр, інтенсивність якого визначається пороговим контрастом зорового аналізатора $T_{пор}$.



П'ятий етап відповідає моменту, коли одержаний сигнал поступає у вищі відділи нервової системи, і описується безпосередньо моделлю оптимального приймача Зігерта-Котельникова.

В результаті проходження через вибілюючий фільтр шуми "декоррелюються", тобто приводяться до білого шуму з постійною спектральною інтенсивністю. На виході такого фільтру спектральна інтенсивність шуму не залежатиме від частоти.

В результаті використання віднімаючих, квадруючих і усереднюючих ланок визначається нова оцінка $\hat{z}$ - міра схожості поточного зображення $s_m(x,y)$ з еталоном $s_e(x,y)$ сформованою ланкою.

Потім відбувається порівняння одержаної оцінки $\hat{z}$ з порогом z^* і на основі вирішального правила D робиться висновок про наявність або відсутність на зображенні КЕ.

Вирішальне правило D відповідає мінімізації середнього ризику $\bar{r}$ відповідно до баєсовського критерію ухвалення рішення. У випадку, якщо за плати за помилкові вирішення є рівними між собою, то баєсовський критерій зводиться до критерію мінімальної вірогідності помилки, або критерію ідеального спостерігача.

Вірогідність помилкової тривоги визначається характеристиками шуму і самого об'єкту, тоді як на вірогідність виявлення, разом з шумами, роблять великий вплив також спотворення, що вносяться системою отримання зображення, особливо та її частина, яка не враховується оператором-дешифрувальником. Тому показником інформативності даних найдоцільніше вибрати умовну вірогідність виявлення – потенційну виявлюваність по його зображенню. У якості вірогіднісної моделі оцінці використовується двохпараметричне гама-розподілення:

$$f_{\hat{z}}(z) = f_{\hat{z}}(z, \varepsilon, \lambda) = \frac{\lambda^\varepsilon}{\tilde{A}(\varepsilon)} z^{\varepsilon-1} \exp(-\lambda z) \Delta(z),$$

де ε - параметр форми гама-розподілення;

$\lambda > 0$ – параметр масштаба гама-розподілення;

$\Gamma(\varepsilon)$ – гама-функція (інтеграл Ейлера II рода);

$(0, \infty)$ – інтервал розподілення.

У такому разі значення оцінці на виході приймача Зігerta-Котельнікова

$$\hat{z} = \int_{x'=x'}^{x''=x''} \int_{y'=y'}^{y''=y''} [s_m(x, y) - s_e(x, y)]^2 dx dy + \int_{x'=x'}^{x''=x''} \int_{y'=y'}^{y''=y''} [s_m(x, y) \cdot \{s_m(x, y) + 2 \cdot [s_m(x, y) - s_e(x, y)]\}] dx dy,$$

де $s_m(x,y)$ – характеристика об'єкту, що розпізнається на поточному зображенні;

$s_{ш}(x,y)$ – фон;

$s_e(x,y)$ – характеристика об'єкту еталонного зображення;

x, y – просторові координати;

x', x'', y', y'' – координати меж зображення.

$$s_m(x, y) = s_e(x, y) + A s_{KE}(x, y);$$

$$\tilde{s}_m(x, y) = \tilde{s}_e(x, y) + \tilde{s}_{KE}(x, y)$$

де $s_e(x,y)$ – зображення об'єкту, що спостерігається;

$s_{KE}(x,y)$ – зображення КЕ;

$\tilde{s}_e(x,y)$ - модель сформованого сюжету;

$\tilde{s}_{KE}(x,y)$ - сформована модель КЕ;

Значення порога:

$$l(z) = \frac{f_{\bar{z}|\hat{A}=1}(z|\hat{A}=1)}{f_{\bar{z}|\hat{A}=0}(z|\hat{A}=0)} = \frac{\Gamma(\varepsilon_0)\lambda_1^{\varepsilon_1}}{\Gamma(\varepsilon_1)\lambda_0^{\varepsilon_0}} z^{\varepsilon_1-\varepsilon_0} \exp[(\lambda_0 - \lambda_1) \cdot z],$$

де $f_{\bar{z}|\hat{A}=1}(z|\hat{A}=1)$ - у разі наявності КЕ на зображенні;

$f_{\bar{z}|\hat{A}=0}(z|\hat{A}=0)$ - у разі відсутності КЕ на зображенні.

Вірогідність виявлення КЕ по його зображенню буде рівна:

$$P_0 = F_{\bar{z}}(z^*; \varepsilon_1, \lambda_1) = \int_0^{z^*} f_{\bar{z}}(z, \varepsilon_1, \lambda_1) dz,$$

$$\text{де } f_{\bar{z}}(z; \varepsilon_1, \lambda_1) = \frac{\lambda_1^{\varepsilon_1}}{\Gamma(\varepsilon_1)} z^{\varepsilon_1-1} \exp(-\lambda_1 z) \Delta(z),$$

$$\varepsilon_1 = N(1+E_1)^2 / (e_{\text{ш}} + 2 + E_1); \quad \lambda_1 = (1+E_1) / (e_{\text{ш}} + 2 + 4E_1),$$

$$E_1 = \frac{1}{N} \iint_{\infty} |A\{S_{KE}(v_x, v_y)\} - \tilde{S}_{KE}(v_x, v_y)|^2 dv_x dv_y$$

Вірогідність помилки II роду:

$$P_{\text{ном}} = F_{\bar{z}}(z^*; \varepsilon_0, \lambda_0) = \int_0^{z^*} f_{\bar{z}}(z; \varepsilon_0, \lambda_0) dz,$$

$$\text{де } f_{\bar{z}}(z; \varepsilon_0, \lambda_0) = \frac{\lambda_0^{\varepsilon_0}}{\tilde{A}(\varepsilon_1)} z^{\varepsilon_0-1} \exp(-\lambda_0 z) \Delta(z),$$

$$\varepsilon_0 = N(1+E_0)^2 / (e_{\text{ш}} + 2 + E_0); \quad \lambda_0 = (1+E_0) / (e_{\text{ш}} + 2 + 4E_0),$$

$$E_0 = \frac{1}{N} \iint_{\infty} |\tilde{S}_{KE}(v_x, v_y)|^2 dv_x dv_y,$$

Показник інформативності зображень, що був обчислений на основі використання запропонованої методики, є обґрунтованою згорткою технічних характеристик, таких як відношення сигнал/шум, детальність і т.д.. Він дозволяє враховувати особливості одержувача відеоінформації, кінцеву мету спостереження, наявність і характер використання апріорної інформації при дешифруванні, характеристики ландшафту, що оточує об'єкт спостереження.

Блок 4.2 Виділення площадкових і лінійно протяжних об'єктів

Алгоритм процесу виявлення аномалій, що є деяким площадковим об'єктом складається з двох основних етапів. На першому етапі проводиться згладжування зображення шляхом низькочастотної фільтрації. Для цього виконується згортка зображення з маскою $w \times w$ елементів, що є один з варіантів фільтру низьких частот (медіанний, усереднюючий або ін.).

На другому етапі, як і у разі процедури виявлення перепадів, проводиться порогове обмеження. Проте в даній процедурі порівнюють із заданою пороговою величиною T не просторову похідну яскравості, а різницю значень яскравості поточного елементу усередненого зображення і сусідніх елементів, які є віддаленими від поточного на w позицій. Можливі

різні варіанти вибору сусідніх елементів для порівняння яскравостей таких чотири елементи (справа, зліва, зверху і знизу), елементи кільцевої області і ін. Даний поточний елемент вважається елементом плями, що виявляється, якщо різниця яскравостей перевищує величину T [33, 34].

Для виявлення плям, що є дійсними аномаліями після проведення операції шумозаглушення, виходячи із закону кольорного сприйняття, пропонується застосування помилкових кольорів, яке полягає в заміні дійсного кольору на контрастний. Це дає можливість для візуальної локалізації плям.

Приклад виявлення відміченої ділянки по заданому алгоритму на початковому зображенні представлений на рис.5.6.

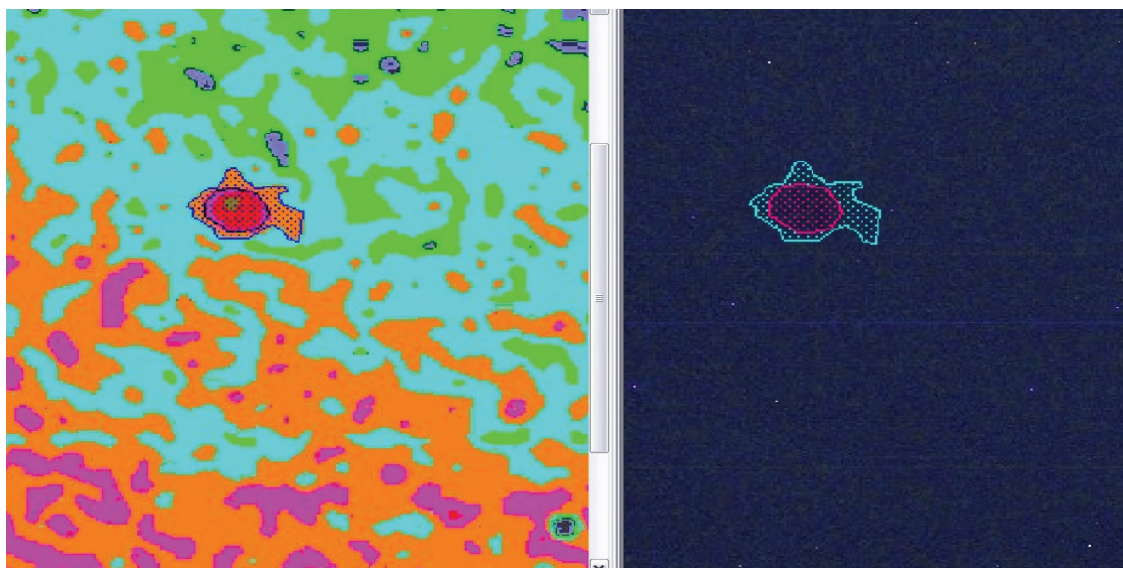


Рис.5.6 - Локалізація плями на початковому зображенні.

В результаті дії алгоритму були виділені зони усередині локалізованого об'єкту для зняття топологічних характеристик площадкового об'єкту (площа, периметр, неоднорідність).

Для визначення концентрації речовини, що становить неоднорідність, ступені інтенсивності кольору в центрі ставиться у відповідність ступінь інтенсивності кольору на периферії плями і за її межами.

Для ідентифікації об'єктів, зокрема віднесення їх до одного з видів аномалій, використовуються стандартні методи класифікації, коли на основі розробленого класифікатора ідентифікується приналежність виділеного аналізованого зображення, що характеризується вектором параметрів, до одного з класів: $w_1, w_2, \dots, w_n$. Для побудови класифікатора використовуються повчальні вибірки – підмножини елементів зображення, приналежність яких до тих або інших класів вже визначена за допомогою апарату теорії розпізнавання образів за наслідками дешифрування аналогічних об'єктів, заданих априорі в базі даних.

Найчастіше у якості класифікатора використовують як деяку вирішальну (дискримінантну) функцію від вектора параметрів, залежно від значення якої ухвалюється рішення про приналежність фрагмента

зображення до класу об'єктів. При класифікації фрагментів зображення можливо помилкове визначення класу W_i . Таким чином, оптимальною є вирішальна функція, яка забезпечує мінімальну вірогідність помилки класифікації.

Використання класичних формул для побудови класифікаторів, зокрема, баєсовського класифікатора, не завжди себе виправдовує, оскільки їхнє застосування для ідентифікації елементів зображення вимагає знання щільності розподілу параметрів зображення в межах кожного з класів, що ідентифікуються. Як правило, на практиці мають справу тільки з оцінками, що були вибірковими і одержаними на повчальних вибірках. Найчастіше баєсовський класифікатор застосовують в тих випадках, коли щільність розподілу вектора можна апроксимувати нормальним законом, хоча в реальних умовах таке допущення практично неможливе.

У загальному випадку, коли щільність розподілів описується законом, який є відмінним від нормального розподілу, то лінійні і квадратичні функції можна використовувати як апроксимації першого і другого порядку тих, що розділяють межі довільної форми.

У розглянутому вище підході до побудови класифікатора не робиться ніяких припущень про вид вирішальних функцій [33, 34], але необхідно наперед визначити вид щільності розподілу вектора $\vec{x}$ для кожного з класів, які ідентифікуються. Проте для побудови класифікаторів можливо використання зворотного підходу, в якому наперед визначають вид вирішальних функцій, але не роблять ніяких припущень про вид щільності розподілу. Вирішальні функції в рамках такого підходу вибираються у вигляді

$$d(\vec{x}) = \sum_{i=1}^n w_i f_i(\vec{x}) + w_{n+1},$$

де $i=1, n$ – дійсні однозначні функції вектора $i=1, n$ - набір параметрів. У векторному вигляді даний вираз матиме наступний вигляд:

$$d(\vec{x}) = \vec{W}\vec{x}^*,$$

де $\vec{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n, w_{n+1})$ – ваговий вектор, а $\vec{x}^* = (f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_n(\vec{x}), 1)$ – вектор функцій, в якому доданий $(n+1)$ компонент, рівний одиниці. У простому випадку, приймаючи, лінійні вирішальні функції мають наступний вигляд:

$$d(\vec{x}) = \vec{W}\vec{x}.$$

Після вибору вид вирішальної функції і завдання побудови класифікатора зводиться до оцінки компонентів вагового вектора w_i по повчальних вибірках за допомогою ітеративних процедур.

Різні ітеративні алгоритми оцінки компонентів вагового вектора можуть бути одержані на основі мінімізації вибраного критерію оцінки якості класифікації елементів зображення. Для обраного критерію якості класифікації, що досягає мінімуму при правильній класифікації при

застосуванні методу градієнтного спуску для знаходження мінімуму функції, виходить наступна ітераційна формула коректування вагового вектора:

$$\vec{W}(k+1) = \vec{W}(k) - C \frac{\partial J(\vec{W}, \vec{x})}{\partial \vec{W}} \bigg|_{\vec{W} = \vec{W}(k)} \quad (5.7)$$

де k – крок ітерації,

C – константа; початкове наближення для вагового вектора $\vec{W}(1)$ може задаватися довільно.

Як видно з формули (5.1), при досягненні мінімуму, значення вагового вектора не коректують.

Вибираючи інші критерії якості класифікації, можна одержати різні ітеративні алгоритми оцінки лінійної дискримінантної функції, які засновані на методі градієнтного спуску.

Проте всі алгоритми, побудовані на класичних методах, включаючи різні варіанти ітераційних алгоритмів, володіють недоліками. По-перше, вони сходяться тільки у разі, коли повчальні вибірки не перекриваються в просторі ознак, що розпізнають, а на космічних знімках при класифікації об'єктів дане обмеження далеко не завжди виконується унаслідок стохастичного характеру даних, використовуваних як повчальні вибірки. Як наслідок, для пошуку дискримінантних функцій переважно застосовувати алгоритми, що враховують статистичні властивості класів, що ідентифікуються. По-друге при ідентифікації аномалій використовуються дані контактних методів, що мають якісні характеристики, ступінь впливу яких на визначення виду аномалії можна оцінити тільки за допомогою алгебри нечіткої логіки. Після проведення процедури камерального дешифрування можна зробити висновок про характер зміни, і з урахуванням різниці в часі зйомок даної території видати прогноз про швидкість пересування, напрям переміщення і можливу зону розповсюдження плям різної етимології.

Оскільки при побудові «критерійних дерев», в основі яких лежить принцип, що є відповідним скануванню растру по Мортону і лінія кодування вершин дерева є фракталом [58], то при ідентифікації об'єктів і прогнозуванні різних ситуацій дозволено використовувати елементи фрактального аналізу. Такий підхід до організації даних дозволяє одержувати швидкі способи доступу до просторових даних, проводити операції обчислення площі, реалізовувати оверлейний алгоритм і алгоритми визначення суміжності осередків [38].

Аналіз знімків, що засновані на побудованих «критерійних деревах», є найбільш доцільним, оскільки передбачає аналіз не всього знімка, а тільки тієї його частини, яка згідно з апіорними даними представляє найбільший інтерес.

Проте для порівняння двох знімків, що були одержані з різних джерел, вирішено розбивати знімок на осередки по географічних координатах. Потім треба використовувати такі «критерійні дерева» для взаємного аналізу.

Приклад розбиття на осередки за запропонованим способом представлений на рис.5.7.



Рис. 5.7 - Приклад розбиття знімка на осередки по географічних координатах

При сумісному аналізі даних дистанційного зондування Землі використовуються «критерійні дерева», які побудовані на основі багатовисотних знімків з декількох спектральних діапазонів.

Блок 5 Формування вектора параметрів дешифрувальних ознак (кількісні характеристики)

Блок 5.1 Тематичне дешифрування

Тематичне дешифрування виконується згідно дешифрувальних ознак забруднень морських акваторій [14] (Таблиця 5.2).

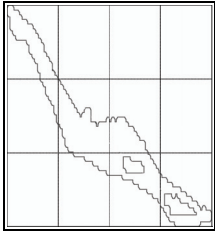
Блок 5.2 Алгебраїчні операції (A_1), і побудова векторних оцінок (A_2)

Як було сказано вище, ієрархічна організація даних дозволяє одержувати швидкі способи доступу до просторових даних [38, 32].

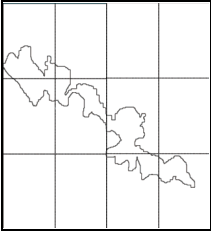
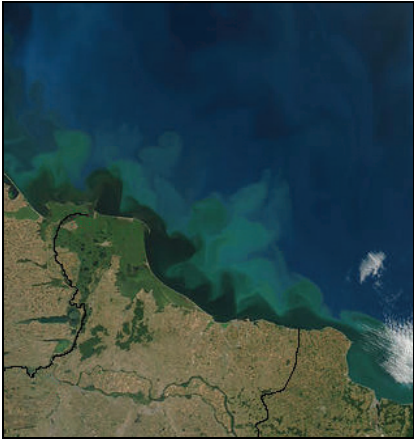
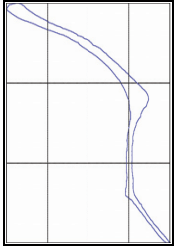
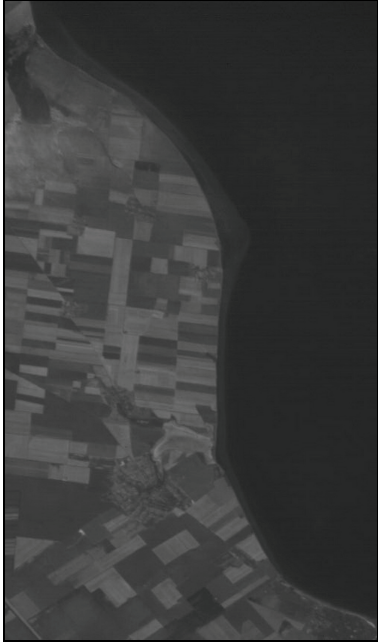
Даний блок включає декілька підблоків, такі як визначення топологічних і геометричних характеристик аномалії, визначення характеристик яскравості дешифрувальних ознак, операції полігонами.

Для зняття топологічних характеристик з виділених об'єктів по побудованих «критерійних деревах», з ними необхідно провести ряд операцій, таких як обчислення площі, оверлейний алгоритм і алгоритми визначення суміжності виділених фрагментів.

Таблиця 5.2 - Дешифрувальні ознаки забруднень морських акваторій, які використовуються для візуального аналізу матеріалів космічних знімків

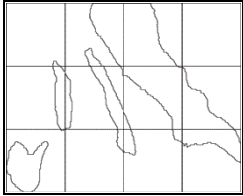
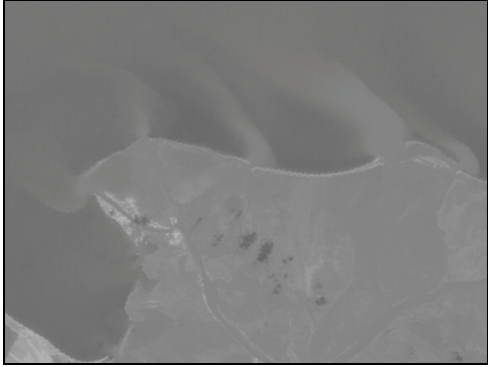
Дешифрувальні ознаки				
Види забруднень	Форма плям	Спектрально-яскравісні характеристики	Текстура плям	Динаміка
1	2	3	4	5
1. Нафтові забруднення акваторій	Специфічно складна спіралевидна, нитковидна, з витягнутими кінцями у вигляді пелюстків, із завихреннями з одного боку, розгалужена.	Світлий тон (у порівнянні з незабрудненою поверхнею) у видимій та ІЧ-області, за великої інтенсивності (свіжа нафта, товсті плівки) – з перевагою червоно-фіолетових відтінків. Для товстих плівок найбільша контрастність відбиття в порівнянні з незабрудненою поверхнею: у видимій області при $\lambda=0,7\text{мкм}$, в ІЧ-області – у діапазонах довжин хвиль 3,6 і 10-12 мкм. Максимум – при $\lambda=10-12\text{ мкм}$. Для тонких плівок максимальна контрастність в ІЧ-області при $\lambda=3,4\text{мкм}$, у видимій області – інтерференційна картина (чергування темних і світлих смуг). У радіодіапазоні – темні плями (наслідок більш гладкої поверхні моря в місцях нафтових плівок). Максимум відбиття – при $\lambda=3\text{см}$.	Можливі як безперервні плями, так і розриви, чергування смуг різної яскравості. Градієнт яскравості великих плям спрямований до краю плями. Границі плям чітко виражені.	Розміри й форма плям швидко міняються. Місця виникнення плям не мають твердोї географічної прив'язки.
				

Продовження таблиці 5.2

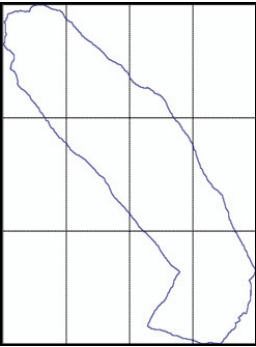
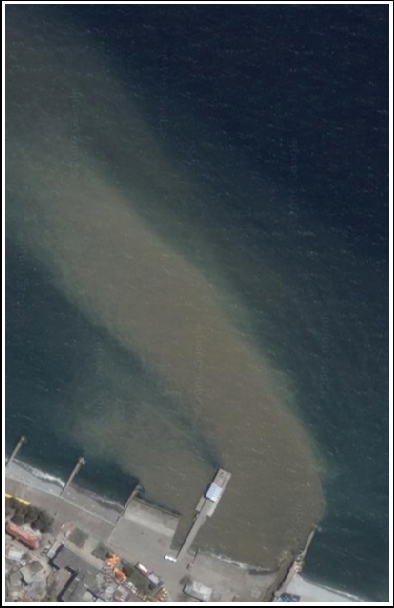
1	2	3	4	5
2. «Цвітіння» акваторій	Нечіткі, тимчасова мінливість вище, ніж у забруднених вод 	Збільшення світлоти в діапазоні 600...700 нм, можливе зменшення 	Пухка або нитковидна (нитки витягаються за течією)	Спостерігається в період вегетації синьо-зелених або діатомових водоростей
3. Абразія берега	Дифузійне джерело забруднення. Плями витягнуті уздовж берега, іноді убік моря. 	Світлий тон плям у видимій області. Максимум відбиття в діапазоні $\lambda=0,5-0,6\mu\text{м}$. 	Максимальна яскравість у вузькій смузі уздовж берега. Градієнт яскравості спрямований до берега, границі плям розмиті.	Виникають при сильному хвилюванні. Розміри й координати непостійні.

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5
4. Річковий стік	Примикають до усть рік. Точкові джерела забруднення. Залежно від метеорологічної обстановки (напрямку вітрів і плинів) плями виносу або витягнуті убік моря, або уздовж берега, мають форму “смолоскипа” або “язику” . Внаслідок різного хім. складу морської й річкової води можлива поява гідрофронтів з різкими перепадами температури, солоності на границі, що сильно утрудняє змішування річкових вод з морськими. У цьому випадку річкові води витісняються уздовж берега, мають витягнуту уздовж берегу й розгалужену форму.	Світлий (у виняткових випадках - темний) тон плям (у порівнянні з незабрудненою поверхнею) у видимій ($\lambda = 0,4-0,7\text{мкм}$) в окремих випадках сильних забруднень і в ближній ІЧ ($\lambda = 0,7-1,0\text{ мкм}$) областях. Максимум контрастності - у видимому діапазоні ($\lambda = 0,5-0,7\text{ мкм}$) обумовлений підвищеною концентрацією суспензії.	Максимум яскравості – в устях рік. Градієнт яскравості спрямований до джерела. Границі плям нечітко виражені. У випадку темних плям градієнт яскравості – від устя.	Плями виносу постійні по своїм координатам, пропорційно рівню забруднення змінюється ступінь яскравості й розміри плям. Максимальна яскравість і розміри в період весняного повіддя (підвищення витрат стічних вод, як наслідок танення снігів і стоку із сільськогосподарських угідь) і паводкових явищ.



Закінчення таблиці 5.2

1	2	3	4	5
5. Береговий стік	Точкове/дифузійне джерело забруднення. Форма плям округла або витягнута. У порівнянні із забрудненням річковим стоком масштаби забруднення значно менші. 	Аномальний тон плям у видимій (у випадку сильних забруднень) та ближній ІЧ-області (частіше більш світлі в порівнянні з незабрудненою поверхнею). Оскільки стічні випуски мають більш високу температуру, можлива індикація в тепловому ІЧ-діапазоні: плями мають більш світлий тон. 	Максимальна яскравість (у випадку темного тону плям – мінімальна) біля міст. Градієнт яскравості спрямований до джерела (у випадку світлих плям) або від джерела (у випадку темних плям). Границі плям розмиті.	Координати постійні. Залежно від рівня забруднення змінюється ступінь яскравості й розміри плям. Максимальні забруднення спостерігаються в період танення снігів і після зливових дощів.

Алгоритми проведення цих операцій наступні:

Визначення площі. Для визначення площі фрагмента з деяким значенням в растровому шарі, необхідно обійти дерево і підрахувати кількість осередків, що кодуються цим значенням, зважену площею осередку на даному рівні дерева. Слід відмітити, що проведення цієї операції на всьому дереві вимагає значних часових витрат, тому цю операцію необхідно проводити у внутрішньому «критерійному дереві» (побудованому усередині виділеного фрагмента), яке після фотограмметричної обробки має координатну прив'язку. Приклад підрахунку площі показаний на рис.5.8.

Площа $SA = 1 * (\text{Count leaf } (00,02,03,32)) + 4 * (\text{Count leaf } (2)) = 8$.

Оверлейне завдання на «критерійних деревах» полягає в поєднанні аналогічних фрагментів дерев на аналізованому (вхідному) зображенні і на дереві з архіву знімків і отриманні нового «критерійного дерева», що індексує всі фрагменти накладених зображень знімків. Для цього потрібно одночасно обійти всі дерева, слідуючи гілкам, що існують у всіх деревах [38].

У тих вузлах, де одного з дерев відсутнє галуження, значення атрибуту переноситься на все подальші підрівні. В результаті утворюється загальне дерево, що містить атрибути всіх аналізованих фрагментів.

При аналізі векторних даних просторові індекси, які привласнені виділеним фрагментам, використовуються для швидшого доступу до об'єктів, що аналізуються, в певному фрагменті зображення.

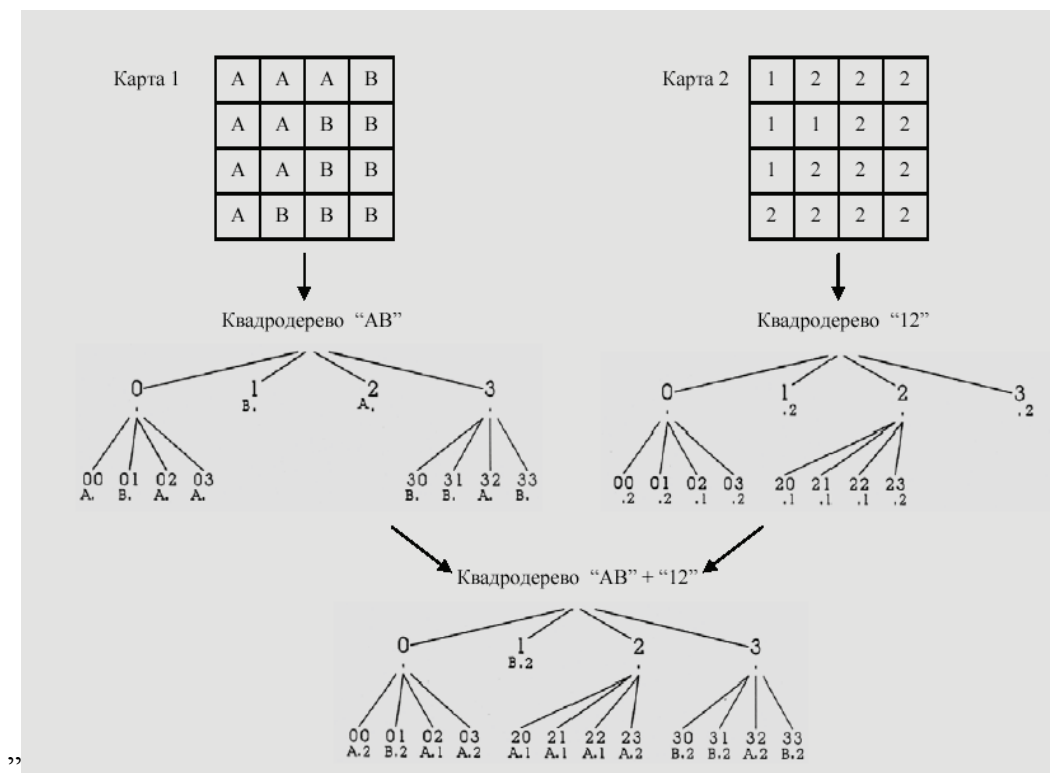


Рис. 5.8 - Оверлейна операція на дереві

Як правило, ця операція є необхідною при визначенні дії на виявлену аномалію, при встановленні причинно-наслідкових зв'язків її виникнення і встановлення ступеня взаємозв'язку між сусідніми зонами.

Індексування просторових об'єктів використовується для зменшення обчислювальної складності процедур пошуку аномалій складної форми (у вигляді пересічних і вкладених об'єктів), особливо при оверлеї полігональних об'єктів [38].

Алгоритм побудови індексу полягає в наступному. Для кожного об'єкту бази даних знаходиться найменший лист дерева, що повністю включає об'єкт. У разі, коли об'єкт (аномалія) частково займає частину деяких сусідніх фрагментів, вони позначаються значенням "NULL". Решта об'єктів позначається кодом включаючого листа дерева. На наступному етапі індексний файл індексується звичайним способом. Індеси, що побудовані таким способом, використовуються для пошуку вкладених в аномалію дрібних об'єктів, які трохи відрізняються по однорідності і що перетинають заданий полігон або лінію. Для цього визначається мінімальний лист дерева, що включає заданий об'єкт. Піднявшись з одержаного вузла до вершини дерева і виконавши обхід піддерева, коренем якого є цей вузол, формується список листів дерева, усередині якого об'єкти можуть перетинатися з аномалією і що характеризують ступінь вкладеності.

Просторові індекси, які побудовані на деревах є ефективнішими в порівнянні з незалежним впорядковуванням об'єктів по координатах x і y , в просторового характеру даних, і найдоцільніше - для дрібних об'єктів. Для великих об'єктів, яким відповідають крупні фрагменти, які складені, як правило, з декількох фрагментів зі схожими характеристиками, проте не гомогенних, потрібно визначати лінії перетину цих складених фрагментів. В даному випадку проблема індексації крупних об'єктів розв'язується з використанням R-дерев. Основна ідея полягає в тому, що вкладені прямокутники можуть перетинатися, але площа перетину повинна бути настільки малою, наскільки це можливо. Далі відбувається постійне рекурсивне повторення цієї процедури.

Операції з полігонами. При визначення площі об'єкту, що має форму полігону і заданий послідовністю вершин, доцільно застосування алгоритму, що заснований на його розбитті на трапеції, і обмежений лінією сегменту полігону перпендикулярами, які є опущеними з вершин сегменту на вісь x , і вісь y . Для сегменту з вершинами (x_A, y_A) і (x_B, y_B) , площа трапеції є рівною $S = (x_B - x_A) * (y_B - y_A) / 2$. При цьому обчислюються площі всіх трапецій, що становлять об'єкт для всіх сегментів полігону і потім підсумовуються. Для сегментів, у яких $x_i > x_{i+1}$, площа береться негативною. Проте, на даний алгоритм накладається обмеження - площі полігонів не повинні мати самопересічні межі. Проте для даних типів аномалій це обмеження ролі не грає. Для полігонів, які є оцифрованими проти годинникової стрілки, а також при негативних значеннях координат у вершин полігону, площа виходить негативною. У такому разі до координат y додається достатньо велике число, або опускаються перпендикуляри з вершин на пряму $y = const$, де $const$ менше самої малої y -координати. У реальних умовах, у зв'язку з використанням систем координат з великими значеннями x і y (наприклад, в системі

координат Гаусса-Крюгера) при багатократному підсумовуванні площ трапецій накопичуватиметься обчислювальна помилка. Відносна погрішність виходить особливо високою для малих полігонів. У такому разі застосовується лінійне перетворення полігону до нової системи координат, в якій не буде таких великих значень з обчисленням в ній площі. Далі обчислюється площа в початковій системі.

Оскільки «критерійне дерево» є графовою структурою полігони формуються з дуг. Кодування здійснюється щодо напрямку цифрування дуги. Тому визначувана межею двох суміжних полігонів площа, обчислюється один раз. Потім для правих полігонів ця площа підсумовується із знаком “додати”, а для лівих – із знаком “відняти”.

Блок 6 Визначення якісних і кількісних характеристик досліджуваної аномалії за даними контактних методів зондування

Аналіз проблем, що виникають при прогнозуванні, піднімає питання створення і комплексування нових критеріїв аналізу вже побудованого «критерійного дерева», що містять велике число змінних і що взаємодіють один з одним, а також реагують на зміни кожної іншої змінної і т.і. Для вищезгаданих чинників при визначенні значень вагових коефіцієнтів необхідним є етап побудови графа посилень (з використанням елементів алгебри нечіткої логіки).

Граф посилень будується таким чином [39-41,43]. Оскільки «критерійне дерево» зрештою є гіперграфовою структурою, то можна розглядати у якості вершин графа – критерії взаємозв'язку дуг (ребер) графа. Тобто вершинами графа є чинники впливу і сам об'єкт, що є підтвердженням впливу цих чинників. Якщо один фактор впливу робить вплив на інший, то від першої до другої вершини, стосовно цих факторів, проводиться дуга.

Таким чином, виходить граф посилень, що характеризує взаємодію розглянутих чинників один з одним (граф взаємного впливу) і граф посилень впливу чинників на заданий об'єкт.

На рис. 5.9, 5.10 подані приклади побудованих графів посилень для випадку, коли як аномалія розглядається нафтова пляма на поверхні моря.

Як чинники, що роблять найбільший безпосередній вплив на розповсюдження нафтової плівки розглядалися [30, 39]: швидкість вітру, середня швидкість течії в аналізованій зоні, середнє значення температури води, рівень солоності, глибину (особливості підводного рельєфу в даній зоні) R , а також середньостатистичне значення апвелінга F_a (підняття глибинних вод, зсув течій), однорідність даної плями (кількість складових його простих KE) L , вплив магнітного геопотенціалу в даній зоні, інтенсивність руху в заданій зоні N_T .

Для розгляду сумісного впливу чинників і об'єкту між собою, будується результуючий граф посилення, рис. 5.11.

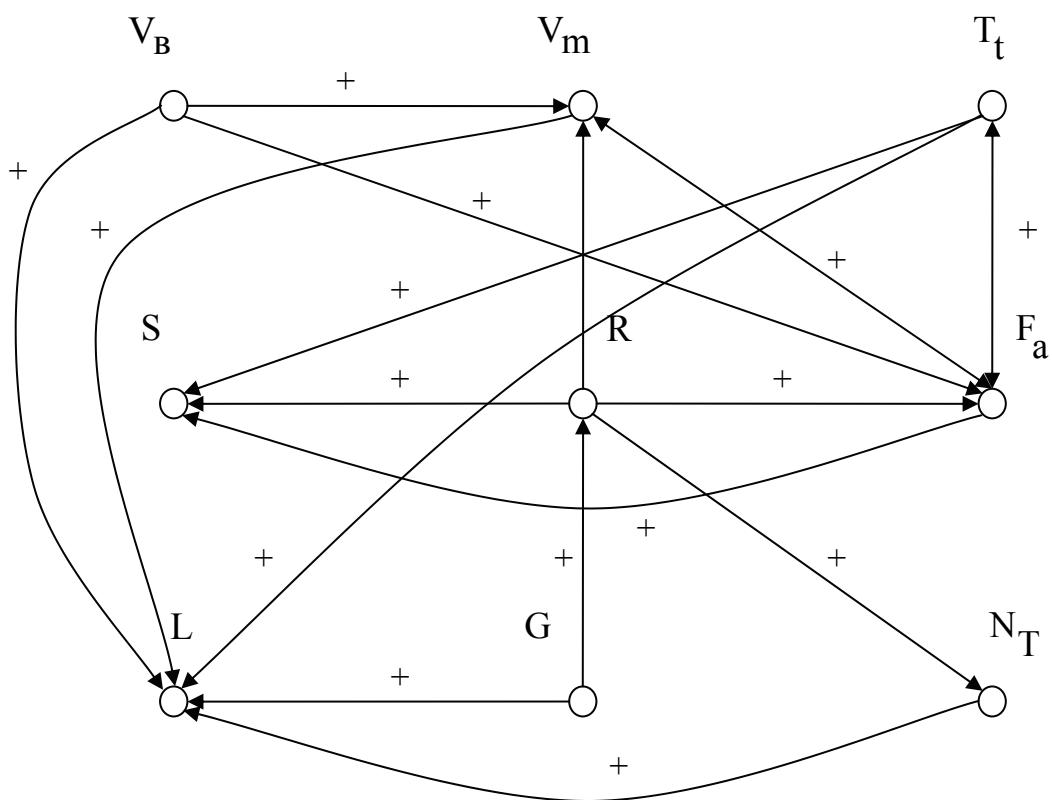


Рис.5.9 - Граф посилень при взаємодії чинників

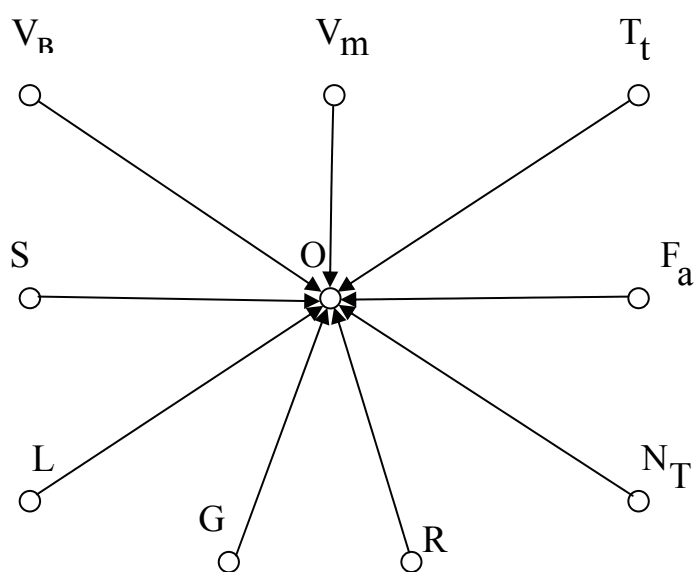


Рис. 5.10 - Граф посилень впливу чинників на об'єкт

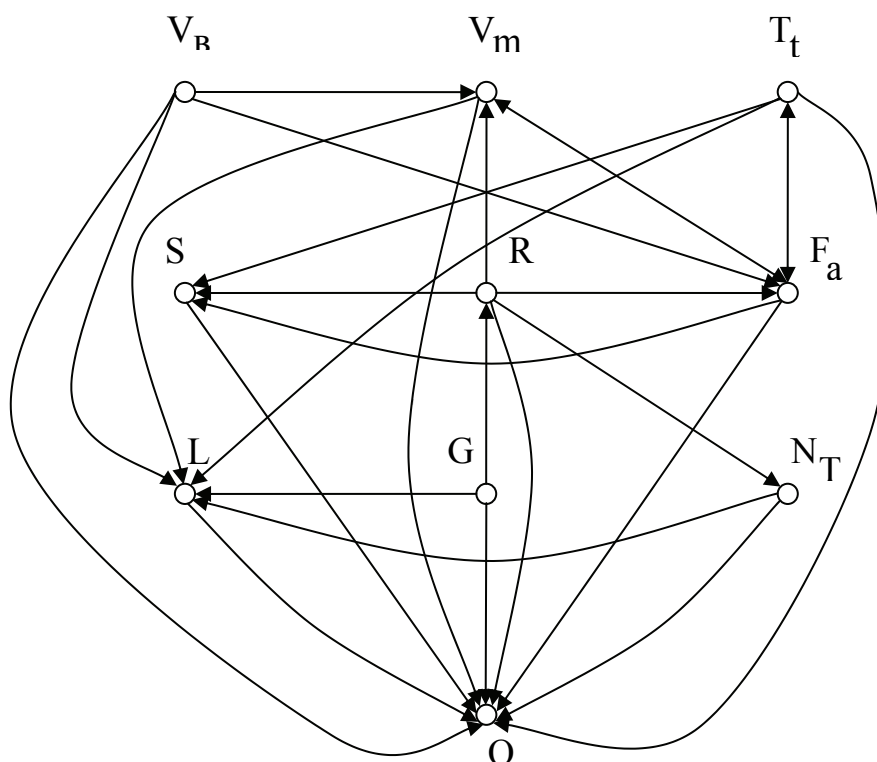


Рис.5.11 – Результуючий граф посилення взаємодії чинників і об'єкту

Після побудови результуючого графа посилень взаємодії чинників і об'єкту, наступним етапом є побудова матриці досяжності, яка відображає безпосередній вплив посилення одним чинником іншого. При цьому рядками матриці є чинники впливу, а стовпчиками матриці є чинники, дія яких посилюється іншими чинниками. Значення “1” - в матриці досяжності означає, що посилення існує, “0” – посилення відсутнє.

У таблиці 5.3 подано матриця для графа на рис.5.11.

Таблиця 5.3 – Матриця досяжності

	V_B	V_m cp	T_t	S	R	F_a	L	G	N_T	O
V_B	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
V_m cp	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1
T_t	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1
S	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
R	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1
F_a	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1
L	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
G	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1
N_T	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Виходячи з матриці досяжності, визначаються множини на які впливає кожний з чинників. Відповідно до цього розставляються коефіцієнти впливу кожного чинника на множину чинників, які він підсилює (для розглянутого прикладу) :

$$\begin{aligned} V_B &= \{O(0,14); V_m(0,35); F_a(0,24); L(0,27)\}; & V_m &= \{O(0,18); F_a(0,6); L(0,22)\}; \\ T_t &= \{O(0,09); S(0,4); F_a(0,34); L(0,21)\}; & S &= \{O(0,09)\}; \\ R &= \{O(0,11); V_m(0,32); F_a(0,25); N_t(0,15); S(0,17)\}; & L &= \{O(0,09)\}; \\ N_t &= \{O(0,1); L(0,9)\}; & F_a &= \{O(0,14); V_m(0,31); T_t(0,25); S(0,3)\}; \\ G &= \{O(0,06); R(0,61); L(0,33)\}. \end{aligned}$$

Проте, для всіх чинників посилення, граф посилення повинен бути перетворений в орієнтований граф відповідно до вказаних вагових коефіцієнтів і ступеня їх впливу безпосередньо на об'єкт, рис.5.12.

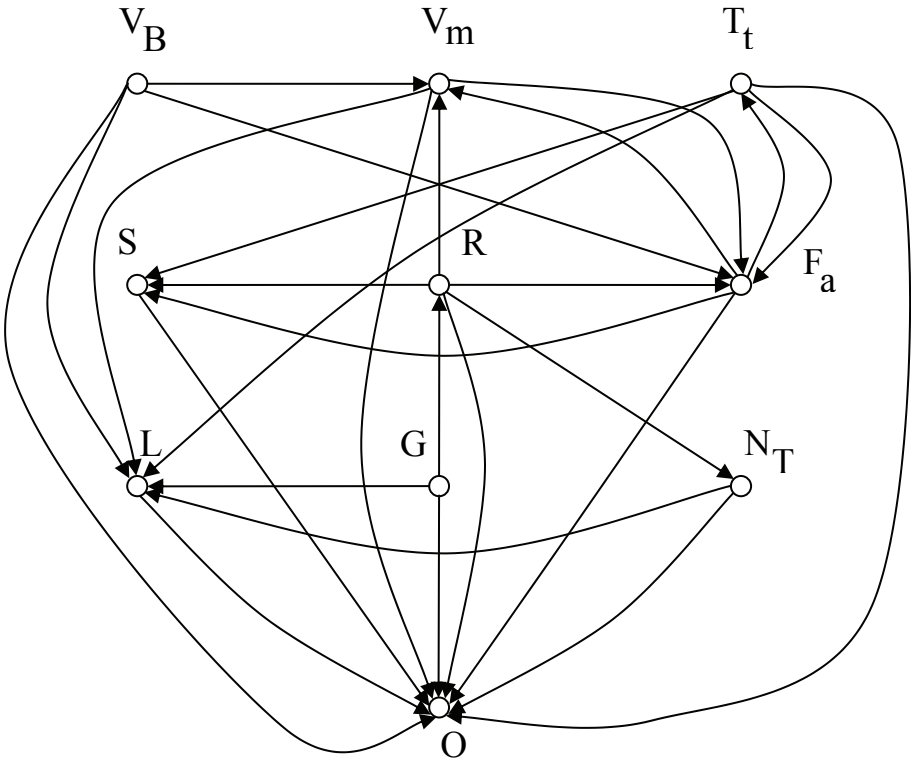


Рис.5.12 – Орієнтований граф посилення

Виявлення чинників, що максимально впливають на динаміку об'єкту

Маючи орієнтований граф посилення впливу чинників на об'єкт і вагові коефіцієнти, що визначають їх ступінь впливу, необхідно визначити максимальний ступінь впливу чинників. Для виконання цього завдання скористаємося аналізом орієнтованого графа, застосувавши алгоритм Флойда.

На першому кроці записується матриця коефіцієнтів впливу при взаємодії чинників і об'єкту (табл. 5.4).

Матриця D^0 визначається [38, 39] при заданих величинах кожного її елементу (i, j) , які є рівними довжині найкоротшої дуги, що з'єднує вершину i з вершиною j . Якщо в початковому графі вказані вершини не з'єднуються дугами, то $d_{ij}^0 = \infty$. Крім того, для всіх i визначатимо, що $d_{ij}^0 = 0$.

Таблиця 5.4 – Матриця коефіцієнтів впливу чинників D^0

	V_B	$V_{m\text{ cp}}$	T_t	S	R	F_a	L	G	N_T	O
V_B	0	0,35	∞	∞	∞	0,24	0,27	∞	∞	0,14
$V_{m\text{ cp}}$	∞	0	∞	∞	∞	0,6	0,22	∞	∞	0,18
T_t	∞	∞	0	0,4	∞	0,34	0,21	∞	∞	0,09
S	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	0,09
R	∞	0,32	∞	0,17	0	0,25	0,05	∞	0,15	0,11
F_a	∞	0,31	0,25	0,3	∞	0	∞	∞	∞	0,14
L	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	0,09
G	∞	∞	∞	∞	0,61	∞	0,33	0	∞	0,06
N_T	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0,9	∞	0	0,1
O	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0

Оскільки по алгоритму Флойда визначають мінімальні шляхи, а в завданні пошуку факторів, що мають максимальний вплив на зміну аномалії, стоїть завдання пошуку максимуму, матриця з таблиці 5.4 повинна бути перетворена. Перетворення полягає в тому, що з одиниці віднімається коефіцієнт, якій не є рівним нулю, і не є рівним нескінченності, а результат записується на місце колишнього коефіцієнта. Таке перетворення дозволяє скористатися алгоритмом Флойда.

На другому кроці для цілого m , що послідовно приймає значення $1, 2, \dots, N$, визначаються величини елементів матриці D^m по величинах елементів матриці D^{m-1} [15], використовуючи при цьому рекурсивне співвідношення

$$D_{ij}^m = \min \left\{ D_{im}^{m-1} + D_{mj}^{m-1}, D_{ij}^{m-1} \right\}. \tag{5.8}$$

При визначенні величини кожного елементу матриці D^m фіксується відповідний найкоротший шлях.

Після закінчення даного кроку величина елементу (i, j) матриці D^N визначає довжину найкоротшого шляху, що веде з вершини i у вершину j .

Після знаходження мінімумів з одержаної довжини шляху знову віднімаються коефіцієнти, які не рівні нулю і не є рівними нескінченності, а результати будуть максимумом впливу чинників. Результат пошуку максимуму для розглянутого вище прикладу нафтової плівки представлений в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Результат розрахунку матриці максимального впливу

	V_B	$V_{m\text{ cp}}$	T_t	S	R	F_a	L	G	N_T	O
V_B	0	0,35	∞	∞	∞	0,24	0,27	∞	∞	0,14
$V_{m\text{ cp}}$	∞	0	∞	∞	∞	0,6	0,22	∞	∞	0,18
T_t	∞	∞	0	0,4	∞	0,34	0,21	∞	∞	0,09
S	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	0,09
R	∞	0,32	∞	0,17	0	0,25	0,05	∞	0,15	0,11
F_a	∞	0,31	0,25	0,3	∞	0	∞	∞	∞	0,14
L	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	0,09
G	∞	∞	∞	∞	0,61	∞	0,33	0	∞	0,06
N_T	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0,9	∞	0	0,1
O	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0

Оброблені результати, які вказані в таблиці 3.2 можуть використовуватися при побудові прогнозу розповсюдження нафтової плівки на короткий період часу, а вказаний алгоритм - при формуванні вектора змінних стану об'єкту.

При подальших розрахунках і аналізі причинно-наслідкових зв'язків особливий вплив слід приділяти коефіцієнтам з максимальною вагою і відстежувати чинник, на який виявляється максимальний вплив. Так наприклад, в розглянутому прикладі, геомагнітний потенціал робить максимальний вплив на неоднорідність нафтової плівки. Чинники, що максимально впливають на об'єкт - це однорідність плями, рівень солоності і температура води.

Блок 6.1 Розрахунок ступеня комбінаторного впливу чинників на об'єкт

Для побудови прогнозу одержаних коефіцієнтів недостатньо. Тому при формуванні вектора параметрів, необхідно визначити ступінь комбінаторного впливу безпосередньо на об'єкт з використанням операцій алгебри нечіткої логіки, оскільки процес прогнозування не можна розглядати однозначно з точки класичної теорії вірогідності. Наявність стохастичної і лінгвістичної невизначеності при описі прогнозованого процесу або об'єкту, а також використання при формуванні простору змінних станів не тільки кількісних, але і якісних характеристик не дозволяє дати однозначну відповідь – чи відбудеться прогнозована подія чи ні, чи виправдається побудований прогноз і наскільки він буде точний. Річ у тому, що стохастична невизначеність має справу з невизначеністю того, чи відбудеться деяка добре описана подія в майбутньому, а лінгвістична невизначеність пов'язана з неточністю опису самої ситуації або події. Теорія вірогідності не може використовуватися для висновку про ступінь істинності висловів в суб'єктивних категоріях, які не повною мірою не узгоджуються з її аксіомами. Для вирішення таких завдань, пов'язаних з моделюванням різних аспектів невизначеності доцільним є використання нечіткої логіки, яка дозволяє розширити межі інтервалу можливих варіантів перебігу процесу з певним ступенем вірогідності (по певних функціях приналежності і розрахованому консеквенту [38, 39, 41].

Для розрахунку ступенів істинності нечітких висловів, що сформовані з різних комбінацій аналізованих чинників і аналізу можливості їх сумісного впливу на об'єкт, використовуються такі операції, як [38]

- **Логічна диз'юнкція нечітких висловів ($A \vee B$) ("А или В")** - бінарна логічна операція, результат якої нечітким висловом [40,42], істинність якого за визначенням приймає значення:

$$T(A \vee B) = \max\{T(A), T(B)\} \quad (5.9)$$

де $T(A)$ – ваговий коефіцієнт, одержаний в результаті аналізу графа посилення при впливі на об'єкт чинника А;

$T(B)$ – ваговий коефіцієнт, що одержаний в результаті впливу на об'єкт чинника В;

$T(A \vee B)$ – ступінь істинності вислову про результат сумісного впливу чинника А і чинника В.

Розглянута формула є основною для визначення ступеню істинності її результату. Проте, для визначення ступеня істинності **диз'юнкції нечітких висловів** можуть бути використані інші альтернативні формули залежно від логіки висловів і особливостей даної ситуації:

1) Алгебраїчна сума ступенів істинності нечітких висловів

$$T(A \vee B) = T(A) + T(B) - T(A) \cdot T(B) \quad (5.10)$$

2) Обмежена сума ступенів істинності нечітких висловів

$$T(A \vee B) = \min\{T(A) + T(B), 1\} \quad (5.11)$$

3) Драстична сума ступенів істинності нечітких висловів

$$T(A \vee B) = \begin{cases} T(B) & \text{якщо } T(A) = 0; \\ T(A) & \text{якщо } T(B) = 0; \\ 1, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (5.12)$$

Логічна кон'юнкція нечітких висловів ($A \wedge B$) "А и В" - бінарна логічна операція, результат якої є нечітким висловом [40], істинність якого визначається як

$$T(A \wedge B) = \min\{T(A), T(B)\} \quad (5.13)$$

Формула (5.12) основна для визначення ступеня істинності її результату.

- Для визначення ступеня істинності **кон'юнкції нечітких висловів** можуть бути використані наступні альтернативні формули [40]:

1) Алгебраїчне множення ступенів істинності нечітких висловів

$$T(A \wedge B) = T(A) \cdot T(B) \quad (5.14)$$

2) Обмежене множення ступенів істинності нечітких висловів

$$T(A \wedge B) = \max\{T(A) + T(B) - 1, 0\} \quad (5.15)$$

3) Драстичне множення істинності нечітких висловів

$$T(A \wedge B) = \begin{cases} T(B) & \text{якщо } T(A)=1; \\ T(A) & \text{якщо } T(B)=1; \\ 0, & \text{інше} \end{cases} \quad (5.16)$$

• **Нечітка імплікація, що читається як "з А слідує В",** – бінарна логічна операція [40], результат якої є нечітким висловом істинність якого може приймати значення, визначуване по одній з наступних формул:

1) Класична нечітка імплікація, яка запропонована Л. Заде

$$T(A \supset B) = \max\{\min\{T(A), T(B)\}, 1 - T(A)\} \quad (5.17)$$

2) Класична нечітка імплікація для випадку $T(A) \geq T(B)$ (4.11):

$$T(A \supset B) = \max\{T(\neg A), T(B)\} = \max\{1 - T(A), T(B)\} \quad (5.18)$$

Цю форму нечіткої імплікації іноді називають нечіткою імплікацією Геделя.

3) Нечітка імплікація, яка запропонована Е. Мамдани

$$T(A \supset B) = \min\{T(A), T(B)\} \quad (5.19)$$

Цю форму нечіткої імплікації також називають нечіткою імплікацією Мамдани або нечіткою імплікацією мінімуму кореляції.

4) Нечітка імплікація Лукасевича

$$T(A \supset B) = \min\{1, 1 - T(A) + T(B)\} \quad (5.20)$$

5) Нечітка імплікація, запропонована Гогеном

$$T(A \supset B) = \min\{1, T(B)/T(A)\} \text{ де } T(A) > 0 \quad (5.21)$$

Звичайно найзручніше використовувати класичну формулу імплікації по Заде по максимальному критерію.

• **Логічне заперечення нечітких висловів $\neg A$ ("невірно, що А").**

Логічне заперечення. Запереченням нечіткого вислову А ("невірно, що А") – унарна логічна операція, результат якої нечітким висловом, істинність якого за визначенням приймає значення [40]:

$$T(\neg A) = 1 - T(A) \quad (5.22)$$

Прийнятий в математичній логіці спосіб визначати логічні операції за допомогою таблиць істинності не може бути використаний в нечіткій логіці. Причина цього полягає в континуальній потужності множини істинних значень $[0, 1]$. Саме тому центральної ролі у визначенні логічних операцій в нечіткій логіці набуває відображення істинності, яке має допоміжне значення в класичній математичній логіці.

Для розглянутого вище прикладу при побудові прогнозу розповсюдження нафтової плівки на морській поверхні для розглянутих чинників побудовані наступні формули:

1) Нечітке відношення впливу вітру на розповсюдження нафтової плівки

$$[F_a \wedge V_T \wedge (V_B \supset \neg L)] = 0.14. \quad (5.23)$$

Вираз побудований таким чином, вітер впливає на апвелінг, швидкість течії і якщо є вітер, то немає однорідності нафтової плівки, в результаті коефіцієнт впливу на нафтову плівку буде рівний 0,14;

2) Нечітке відношення впливу течії на розповсюдження нафтової плівки

$$[(V_T \supset \neg L) \wedge F_a] = 0.18 \quad (5.24)$$

3) Нечітке відношення впливу температури на розповсюдження нафтової плівки

$$[S \wedge (F_a \supset \neg L)] = 0.09 \quad (5.25)$$

4) Нечітке відношення впливу рельєфу на розповсюдження нафтової плівки

$$[S \wedge N_t \wedge F_a \wedge L \wedge V_T] = 0.11 \quad (5.26)$$

5) Нечітке відношення впливу апвелінгу на розповсюдження нафтової плівки

$$[V_T \wedge T_t \wedge S] = 0.14 \quad (5.27)$$

6) Нечітке відношення впливу геомагнітного потенціалу на розповсюдження нафтової плівки

$$[L \wedge R] = 0.06 \quad (5.28)$$

7) Нечітке відношення впливу інтенсивності руху в заданій зоні на розповсюдження нафтової плівки

$$[N_t \supset \neg L] = 0.1 \quad (5.29)$$

Такі чинники як солоність і однорідність нафтової плівки впливають тільки на об'єкт і вагові коефіцієнти їх впливу рівні 0,09.

Нечітке відношення впливу чинників на нафтову плівку в цілому будується таким чином, що всі імовірнісні чинники об'єднуються нечітким оператором диз'юнкція, а всі чинники, які постійно впливають на об'єкт, об'єднуються оператором кон'юнкція. В результаті виходить формула для розрахунку коефіцієнта комплексного впливу всіх чинників на об'єкт

$$[V_B \vee N_T \vee F_a \vee L] \wedge [V_T \wedge T_t \wedge S \wedge R \wedge G] = 0.06. \quad (5.30)$$

В результаті використання запропонованого методу були одержані формули розрахунку коефіцієнтів, які характеризують ступінь комбінаторного впливу на об'єкт і дозволяють сформувати вектор параметрів для подальшого прогнозування і визначення меж зони розповсюдження аномалії у відсутність подальших знімків.

Усі процеси, що характеризують фізичні явища, в найзагальнішому вигляді класифікуються по стаціонарності як детерміновані і випадкові. Згідно з визначеннями детермінований процес визначається однією єдиною

реалізацією, що описується заданою функцією часу. Проте, внаслідок неминучого впливу різноманітних зовнішніх і внутрішніх чинників обурень по відношенню до досліджуваної аномалії, детермінований процес є абстракцією. На відміну від детермінованого процесу, випадковий процес представляється у вигляді випадкової функції $X(t, \omega)$, де t - час, $\omega \in \Omega$, а Ω - простір елементарних подій. Функція $X(t, \omega)$ у будь-який момент часу може набувати різних значень з відомим або невідомим законом розподілу.

Процеси, що розглядаються у кожному конкретному випадку, і явища, які характеризують екологічний стан аналізованої аномалії і які підлягають прогнозу, є, як правило, випадковими процесами з безперервними станами і безперервним часом. Проте той початковий матеріал, по якому здійснюється прогноз (архів знімків) і дані контактних методів, що задані апіорі, а також використання обчислювальної техніки для отримання кількісних характеристик, призводить до необхідності розгляду процесів в дискретні моменти часу.

Для визначення можливості переходу аномальних екологічних об'єктів в стан, що характеризується як катастрофа, необхідно визначити зону переходу з басейну одного атратора в інший. Для цього потрібний аналіз процесів, що характеризують можливу зміну станів аномалій екологічного походження, що є заснованим на сформульованих аксіомах, які дозволяють встановити взаємозв'язок між прескриптивною і дескриптивною моделями при побудові предиктора в умовах невизначеності. Невизначеність виникає при визначенні великої кількості параметрів біфуркацій. Метод визначення точок біфуркації на основі отриманих точок максимальної ентропії припускає використання тензорного аналізу.

Відомо, що вичерпною характеристикою випадкового процесу є багатовимірний закон розподілу. Імовірнісні характеристики стаціонарних випадкових процесів однакові в усіх перерізах. Умовою стаціонарності у вузькому сенсі є інваріантність n -мерної щільності вірогідності відносно часового зрушення. Умови стаціонарності в широкому сенсі обмежуються вимогами незалежності від часу математичного очікування і дисперсії, та залежності кореляційної функції лише від часового зрушення. Структуру випадкового процесу можна встановити по кореляційній функції або по відомій щільності розподілу.

Проте, відхилення від класичної форми розподілу говорить про нестаціонарність процесу. По одній реалізації обмеженої довжини важко з достатньою точністю судити про закон розподілу випадкового процесу. В цьому випадку тип процесу або постулюється, або функція розподілу не враховується при аналізі. Для нестаціонарних процесів характерна зміна в часі їх статистичних характеристик. Зазвичай виділяють процеси, які мають змінне в часі середнє значення, змінне в часі середнє значення квадрата, змінні в часі середнє і середнє значення квадрата, змінну за часом частотну структуру. Подібна класифікація відбиває зміну в часі оцінок імовірнісних характеристик.

Для виявлення нестаціонарних властивостей пропонується використовувати непараметричні критерії, показник Херста і нечітку логіку, за результатами застосування яких формується вектор інформативних ознак R .

Значна більшість непараметричних критеріїв реагують на зміну оцінки математичного очікування. За значенням показника Херста можна судити як про стаціонарність процесу по математичному очікуванню, так і про вид детермінованої складової. Кореляційна функція несе інформацію про динамічні властивості досліджуваного процесу.

В умовах обмеженої апіорної інформації про властивості досліджуваного процесу розвитку аномалії і її поточного стану, що визиває порушення екологічної стабільності, рішення про клас процесу слід приймати за результатами застосування сукупності критеріїв. У зв'язку з цим пропонується набути деякої узагальненої класифікаційної ознаки. Тому необхідно чітко класифікувати усі ознаки усередині кожного з фрагментів і сформувати єдиний клас загальних ознак, що об'єднують роздільні фрагменти в єдине ціле. По цьому, для класу ознак необхідно визначити їх вплив на дану ділянку в цілому, тобто виявити по них причинно-наслідкові зв'язки при побудові залежностей, які об'єднують фрагменти в новий єдиний часовий ряд.

При динамічному прогнозуванні потрібне використання моделей, що базуються на поняттях поточних станів об'єкту. Залежно від чинників, що описують поточний стан об'єкту в конкретний момент часу необхідно прийняти єдине правильне рішення про подальшу динаміку поширення явища, пов'язаного з даним об'єктом. Необхідно визначити, яким чином інформація про рівні станів призводить до вибору рішень, що пов'язані із швидкістю зміни відповідних параметрів.

Причинно-наслідкові стосунки виражені у вигляді графових моделей взаємодії (критерійних дерев, гіперграфових структур), що дозволяють дефрагментувати зображення відповідно до заданих критеріїв. Цей підхід дозволяє не лише прослідкувати причинно-наслідкові стосунки, що лежать в основі подальшого прогнозування ситуації, але і виробити міру взаємозв'язку усіх листів кожного дерева окремо і сукупності усіх побудованих дерев по апіорі заданих знімках.

Для проведення операції динамічного прогнозування будується часовий ряд з набору не тільки кількісних характеристик, які були отримані з "критерійних дерев", а також в результаті проведення нечітких операцій з чинниками максимального впливу. Проте, навіть усередині кожного листа "критерійного дерева", процес поширення аномалії не може розглядатися як стаціонарний. Тому, увесь часовий ряд повинен розглядатися як сукупність миттєвих стаціонарних підрядів з мінімізацією інтервалів часу. У кожному з отриманих підрядів (листу критерійного дерева) необхідно розраховувати значення показника Херста (H). По його значенню формується вектор додаткових інформативних ознак, що характеризує швидкість поширення аномалії в даний період часу, тобто стан динамічної системи в цілому. Облік попередніх значень показника Херста дозволяє зробити висновок про те, що тенденція до збільшення у минулому - означає тенденцію до збільшення в майбутньому. І навпаки, тенденція до зменшення у минулому - означає продовження зменшення в майбутньому [40]. Більше того, за допомогою методу нормованого розмаху Херста є можливість розрахувати показники

Херста не лише в області аналізованої аномалії, але і в суміжних зонах, встановити залежність між отриманими показниками Херста в різних зонах, отримати деяку оцінку інтервалів передбачуваності поведінки цього ряду і підрядів залежно від корельованості набутих значень.

Встановлено, що межі ареалів різного походження характеризуються точками зламу статистики Херста, на яких оцінка показника Херста істотно змінюватиметься. Випадок, коли показник Херста дорівнює 0,5, визначає передумову для проведення подальшого аналізу з використанням апарату алгебри нечіткої логіки, введенням додаткових умов і змінних, таких, що мають меншу міру впливу в матриці пріоритетів, а також аналізу зон, що є сусідніми з локалізованою.

Усереднені значення отриманих показників Херста є початковими даними для побудови загального попереднього прогнозу в зоні з розширеними межами за допомогою класичного апарату математичної статистики.

На підставі встановленого взаємозв'язку між прескриптивною і дескриптивною моделями в результаті аналізу причинно-наслідкових зв'язків, є можливість здійснити динамічне прогнозування подальшого розвитку аномалій, отримуючи тим самим виграв за часом у відсутність нових знімків.

Однак, для встановлення взаємозв'язку необхідно сформулювати аксіоми, що виражають необхідні і достатні умови можливості виміру або шкалювання переваг, які повинні інтерпретуватися як умови "раціональності", причому переваги "раціональності" повинні задовольняти правилам, заданим в розроблених аксіомах.

Аксіома 1. Індиферентність показника Херста в суміжних зонах об'єкту є достатньою умовою для введення додаткових змінних з меншою мірою впливу і збільшення меж зони при побудові нових часових рядів.

Міра впливу визначається відповідно до пріоритетів графа посилень.

Аксіома 2. Межі буферних зон характеризуються точками зламу статистики Херста, в яких оцінка показника Херста істотно змінюється.

Аксіома 3. Усереднювання суміжних значень показників Херста, що мають значення більше 0,5 є достатнім для побудови попереднього прогнозу в загальній зоні і необхідним при визначенні точок максимальної ентропії.

Аксіома 4. При прогнозуванні часу процесу поширення аномалії із заданими параметрами показник Херста визначає міру відхилення імовірнісних характеристик другого порядку від характеристик класичного розподілу, тобто дозволяє визначити імовірнісні межі з великою мірою достовірності, особливо за наявності істотних збурень.

Одночасно з цим, треба враховувати і переваги, які досліджуються на основі дескриптивного підходу. Ці умови вважаються такими, що перевіряються, і вони повинні порівнюватися з початковими даними (в результаті аналізу статистичної вибірки, що існувала на конкретний фіксований момент часу).

Оскільки поточний часовий ряд розглядається як випадковий стаціонарний процес, з'являється необхідність розвивати різні математичні

методи кількісного аналізу з метою витягання з часових лав достовірної інформації. Таким чином, прогнозування часового ряду здійснюється на основі гіпотези про те, що існує деякий закон, по якому можна визначити значення чергового члена ряду як функцію від декількох попередніх членів. Найчастіше, на практиці використовується поліноміальна модель, але вона досить умовно описує динамічні процеси. Найбільш точних результатів в аналізі часових рядів можна добитися з точки зору теорії динамічного хаосу. Але перш, ніж на практиці використовувати елементи теорії хаосу, необхідно встановити чи є система хаотичною. Для цього обчислюється старший показник Ляпунова, по знаку якого визначається – чи являється система хаосом. Позитивне його значення говорить про приналежність.

Проте, більшість систем, пов'язаних з екологією є дисипативними, у яких фазовий об'єм з часом не залишається постійним. Зміна фазового об'єму призводить до того, що усі рішення дисипативної системи стягуватимуться до деякої підмножини фазового простору (атрактору). Згідно з теорії динамічного хаосу і основ теорії управління хаосом, найголовнішою умовою для побудови короткострокового прогнозу часового ряду є перехід від хаотичного стану системи, про який свідчить випадковий часовий ряд, до регулярного стану. Таким чином, необхідно виробити перебудову системи при зміні параметрів, від яких вона залежить. Зміна зовнішніх умов якраз і призводить до перебудови характеристик динамічної системи, які свідчать про її стан. Оцінка отриманого часового ряду і відповідного йому атрактору дає можливість побудови необхідного горизонту прогнозу.

При побудові короткострокового прогнозу розглядається реальна система динамічного хаосу у вигляді сукупності декількох підсистем (ділянок часових рядів), яким на певній ділянці відповідають прості атрактори. Це дає можливість на рівні кожної з підсистем визначити значення чергового члена ряду як функцію від декількох попередніх членів. При цьому, для оцінки близькості басейнів зон 2-х різних атракторів, доцільним є використання тензорної алгебри і, як наслідок, вступ нової системи координат, яка характеризує траєкторії фазового простору. Цей підхід дозволяє визначити зміни для кожного атрактора шляхом мінімізації їх дискретності в областях найменшої збіжності, та збільшування величини дискретизації ділянок в зонах максимальної збіжності (тензор деформацій).

Для визначення граничної відстані між басейнами двох атракторів, що змінюється під впливом різних обурень, виникає необхідність визначення функції-норми для оцінки можливого переходу аномалії в один з типів катастроф. Введення цієї функції дозволяє порівнювати різні математичні об'єкти однієї природи відповідно до їх зображення на числовій осі, а саме ввести числову характеристику поняття «ближче – далі» або «більше – менше» (для векторів це буде довжина вектора). Інакше кажучи, визначити функцію-норму від математичного об'єкту для його оцінки. Введення норми (керівного правила) породжує поняття еквівалентності, тобто одному і тому ж числовому значенню норми відповідатимуть різні математичні об'єкти. Для

тривимірних векторів, що наділені нормою у вигляді довжини, виникне множина еквівалентних по нормі об'єктів (сфера). Тобто поняття еквівалентності має на увазі усю множину або сферу, на якій розташовуються різноманітні вектори з такою довжиною. При цьому на норму накладається обмеження - вона не повинна залежати від системи координат. Таким чином, її доцільно записати через інваріанти тензора напруги або деформацій.

За допомогою тензорного апарату, вплив деяких чинників на аномалію і, як наслідок, визначення міри її зміни, яка є характерною для переходу аномального стану до катастрофи, можна описати декількома стадіями. При незначній дії зв'язок між напругою і деформацією буде лінійним – зміни, що відбуваються є несуттєвими і групуються в околиці початкових умов в басейні першого аттрактора. Слід зауважити, що точка з початковими умовами є початком системи координат. При збільшенні сили дії, зв'язок стає нелінійним, але залишається гладким. При подальшому зростанні навантаження на аномалію виникають порушення гладкості зв'язку напруги і деформацій. При цьому аттрактори двох аналізованих басейнів розглядаються як локальні, такі, що мають взаємне тяжіння. Процес переходу обумовлений збільшенням розривів в похідних характеризує перехід аномалії в пограничний стан між басейнами двох аттракторів, що граничать з катастрофою, віддаляючись при цьому від початкових умов. Остаточний перехід в басейн другого аттрактора є можливим тільки при повній незалежності напруги від деформацій. Перші дві стадії (до моменту переходу) носять локальний характер (в межах околиці першого аттрактора), а третя - глобальний, що визначає перехід в басейн другого аттрактора.

При такому підході, аналізована аномалія з математичної точки зору може розглядатися як поверхня, тому її стан має бути описаний двома інваріантами тензора напруги. Тобто перехід з лінійних співвідношень на гладкі, а потім на розривні стани між напругою і деформаціями будується в двовірному просторі.

В результаті досліджень виявлено, що найбільш доцільним є використання інваріантів по Мору - стискування і зрушення, що визначаються через кульову і девіаторну частини тензора відповідно. Перехід від однієї стадії до іншої описується кривими залежності деформації від стискування (зміна аномалії, як результат дії обурюючих чинників), а продовження на тривимірний простір головної напруги здійснюється обертаннями кривої залежності навколо осі, яка пов'язана з координатою, по якій очікуються найбільші зміщення або спотворення при дії різних чинників (з графа посилень).

Двовалентні тензори представляються квадратними матрицями, які розглядаються як лінійні оператори, що мають власні числа (аналог головної напруги або деформацій) і не залежать від системи координат. Таким чином, вони є інваріантами тензора. У певній системі координат, які визначаються власними векторами, що є узгодженими з власними числами, усі діагональні елементи тензора нульові. Отже, в системі координат, яка визначається

власними векторами, головна напруга розглядається як координати тривимірного вектора, що повністю визначає тензор напруги. Таким чином, в даному випадку, тензор - вектор в тривимірній системі координат (системі, пов'язаній з головними векторами) з координатами, які характеризують головну напругу. Як головні напруги використовуються ваги, що характеризують силу максимального впливу на аномалію (з матриці максимального впливу).

Абсолютно очевидно, що об'єкти різної геометричної форми під впливом різних обурень деформуються по-різному. Проте встановлено, що мала околиця будь-якої точки деформується за одним й тим же законом (тобто мають місце систематичні зрушення). У такому разі, усередині басейну першого атрактора (поблизу початкових умов) різкої зміни траєкторії не очікується, і як наслідок, скачка в басейн другого атрактора не буде.

Для набуття значення функції - норми i , відповідно, для визначення моменту переходу аномалії в один з типів елементарних катастроф, на першому етапі визначаються точки максимальної ентропії, які є найбільш схильними до змін, і в яких перехід є найбільш вірогідним.

Визначення таких точок проводиться на основі спільного аналізу топологічних характеристик об'єкту, градієнтів яскравості і результатів проведення методу історичної аналогії. Особлива увага приділяється топологічним особливостям аномалії і градієнту зміни показників її відповідних дешифрувальних характеристик. Зокрема, в прикладі, розглянутому на відповідних рисунках, - це є градієнт зміни рівня забруднень на поверхні моря, який є викликаним розливом нафти.

На рис. 5.13 подано графік зміни довжини радіус-вектора граничних точок аномалії відносно центру тяжіння фігури. В якості аномалії розглядалася нафтова пляма - як результат розливу нафти в акваторії Чорного моря. Суцільна лінія на графіку відповідає стабільному стану об'єкту (форма аномалії - круг).

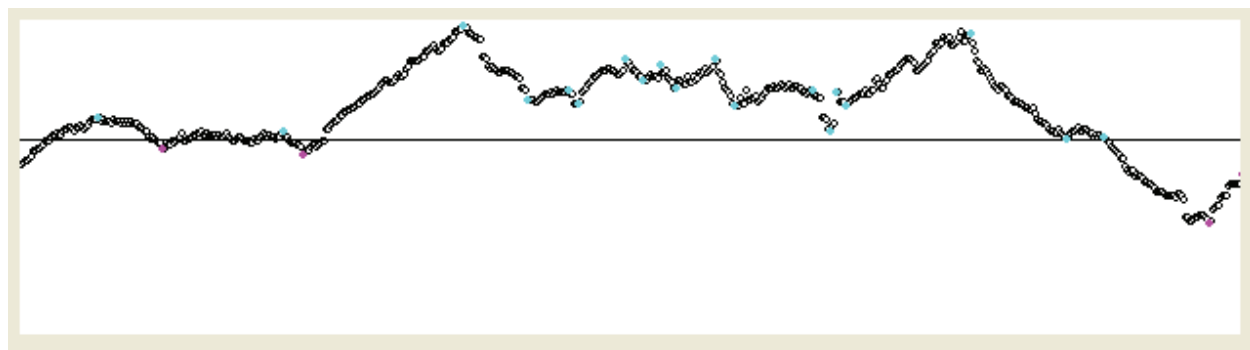


Рис. 5.13 - Графік зміни довжини радіус-вектора граничних точок аномалії відносно центру тяжіння фігури.

Точки лінії стабільного стану, що знаходяться нижче, матимуть тенденцію до подальшого поширення аномалії. Точки лінії стабільного стану, що знаходяться вище, характеризують процес зменшення геометричних розмірів аналізованого об'єкту. Проте, цей алгоритм є недосконалим, оскільки при аналізі не проводиться облік градієнта концентрації рівня забруднення, а

тенденція і напрям можливого поширення аномалії визначається тільки на основі топології об'єкту. В даному випадку рівень забруднень для знімків характеризується яскравістю пікселей. На рис.5.14 подано графіки зміни рівня забруднення уздовж радіус-вектора. При цьому, рис. 5.14 а відповідає різкішій зміні концентрації.

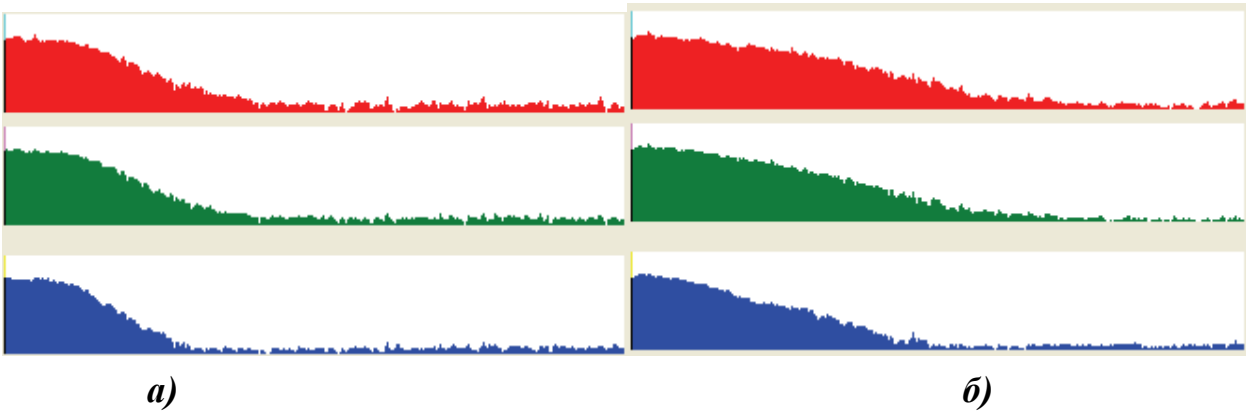


Рис. 5.14 - Графіки зміни рівня забруднення уздовж радіус-вектора

Говорячи про диференціал характеристик яскравості уздовж радіус-вектора, необхідно помітити, що він визначає швидкість зміни рівня забруднення і повинен додатково враховуватися при виборі спільного аналізу, приведенного на рис.5.15. При цьому отримані точки максимальної ентропії, що характеризують процес поширення аномалії як інволюційний - точки виділені синім кольором, а точки еволюції - червоним.



Рис.5.15 - Результат аналізу неоднорідності на наявність точок з максимальною ентропією

Очевидно, що для отримання величин, що характеризують міру деформації і область їх поширення в околиці цих точок необхідно знати зміну довжини і кутів напрямів після деформації. Як тільки форма аномалії в цих

точках зазнає змін, що не відповідають системним зрушенням, відразу ж виникає загроза переходу в басейн другого атрактору. Для цього використовуються шість величин, що є компонентами тензора деформацій, - це три деформації зміни довжини вектора: ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{zz} і три деформації зрушення: $\epsilon_{yx} = \epsilon_{xy}$; $\epsilon_{zy} = \epsilon_{yz}$; $\epsilon_{zx} = \epsilon_{xz}$.

Таким чином, компоненти деформації у вигляді тензора в Декартовій системі координат OXYZ описуються матрицею виду:

$$\begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{pmatrix},$$

а тензор деформацій в іншій системі координат OX'Y'Z', що має той же центр координат у вигляді:

$$\begin{pmatrix} \epsilon'_{xx} & \epsilon'_{xy} & \epsilon'_{xz} \\ \epsilon'_{yx} & \epsilon'_{yy} & \epsilon'_{yz} \\ \epsilon'_{zx} & \epsilon'_{zy} & \epsilon'_{zz} \end{pmatrix}.$$

Направляючі косинуси, що характеризують зв'язок між системою координат OXYZ і OX'Y'Z' виглядають таким чином:

Координатні осі	X	Y	Z
X'	a ₁	b ₁	c ₁
Y'	a ₂	b ₂	c ₂
Z'	a ₃	b ₃	c ₃

Формули взаємного зв'язку компонент тензора в нових осях системи OX'Y'Z' – ($\epsilon'_{xx}, \dots, \epsilon'_{xy}, \dots$) через компоненти тензора деформації в старих осях системи OXYZ – ($\epsilon_{xx}, \dots, \epsilon_{xy}, \dots$), наступні:

$$\begin{aligned} \epsilon'_{xx} &= \epsilon_{xx}a_1^2 + \epsilon_{yy}b_1^2 + \epsilon_{zz}c_1^2 + \epsilon_{yz}b_1c_1 + \epsilon_{zx}c_1a_1 + \epsilon_{xy}a_1b_1; \\ \epsilon'_{yz} &= 2(\epsilon_{xx}a_2a_3 + \epsilon_{yy}b_2b_3 + \epsilon_{zz}c_2c_3) + \epsilon_{yz}(b_2c_3 + b_3c_2) + \epsilon_{zx}(c_2a_3 + c_3a_2) + \epsilon_{xy}(a_2b_3 + a_3b_2). \end{aligned}$$

Ці формули є формулами перетворення компонент тензора другого рангу до нової системи координат.

Початком системи координат є атрактори, що розташовані в точках максимальної ентропії. Проте, для того, щоб зрозуміти який з видів атрактора розташований в кожній з точок і для визначення меж його басейну, необхідно провести додатковий аналіз, що показує напрям можливої зміни меж об'єкту по відповідних координатах. На рис.5.16 представлені найбільш вірогідні напрями зміни аномалії в цілому, аналіз яких, спільно з даними контактних методів зондування, дозволяє визначити передбачувані межі прогнозованої зміни об'єкту і оцінити швидкість його зміни.

Як видно з рисунка, точки, напрям зміни в яких спрямований строго всередину аномалії, задовольняють умові максимальності і можуть розглядатися як максимальні атрактори. Іншими словами, для аномалії, що

розглядається в якості динамічної системи, задана область U , яка переводиться строго всередину себе динамікою, $\overline{f(U)} \subset U$. При цьому максимальним аттрактором цієї системи в обмеженні на U являтиметься перетин усіх його образів під дією динаміки $A_{\max} = \bigcap_{n=1}^{\infty} f^n(n)$. В точках, що є максимальними аттракторами, визначення зміщень координат при побудові предиктора, можливо за допомогою класичних методів прогнозування при використанні рівнянь з приватними похідними.

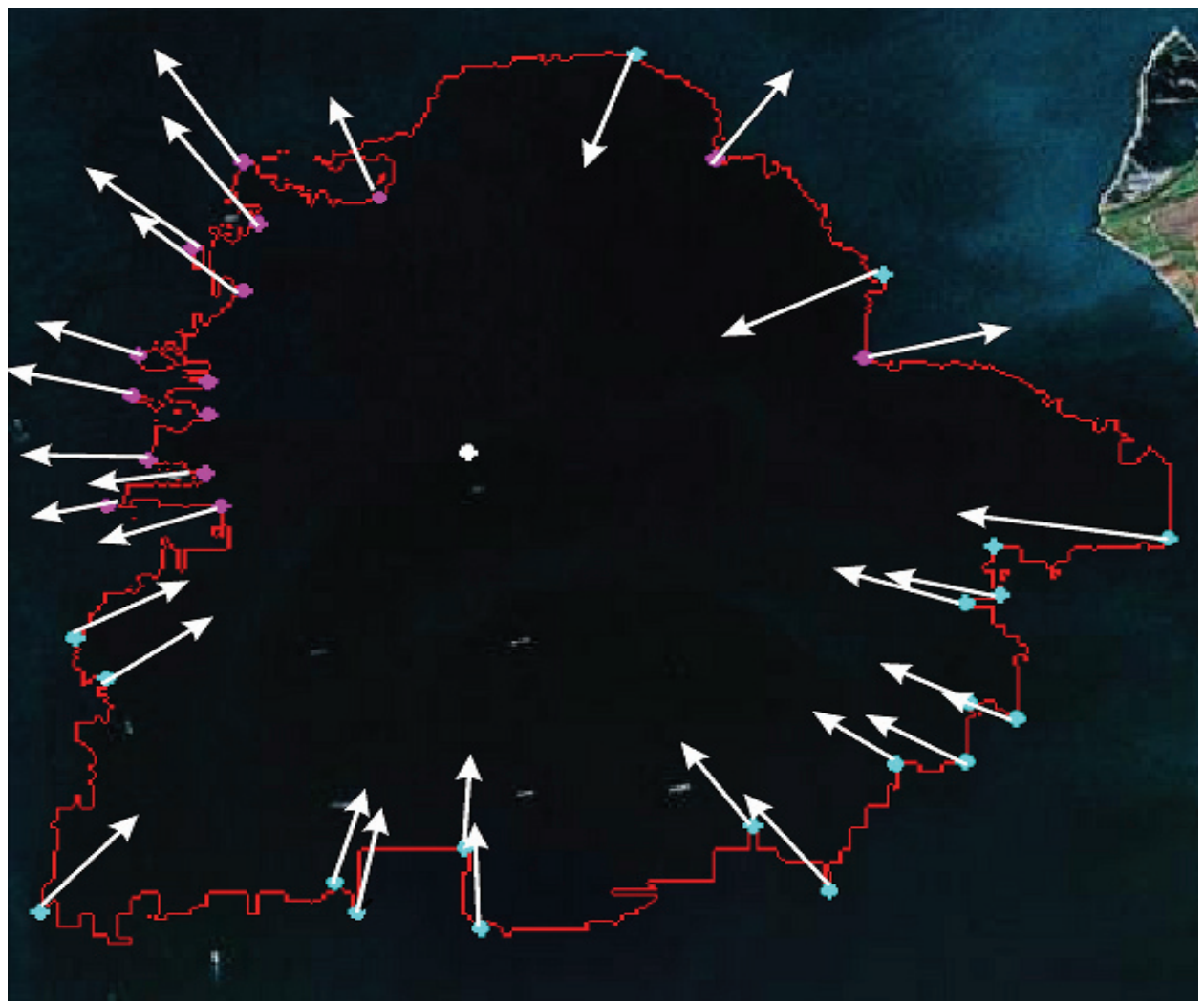


Рис. 5.16 - Найбільш вірогідні напрями зміни аномалії в цілому

В результаті вище викладеного сформульована ще одна аксіома.

Аксіома 5. Точки максимальної ентропії, що не є максимальними аттракторами, формують множину контрольних точок для визначення поправок прогнозованих меж вірогідного зміщення аномалії.

Таким чином, особливу увагу слід приділити точкам, які не є максимальними аттракторами. Очікувані можливі зміни аномалії на рисунку 4 представлені напрямками, що виходять з об'єкту.

При цьому середнє значення деформації, пов'язаної із зміною довжини в усіх цих точках має бути однакове в будь-якій системі координат, тобто:

$$\frac{1}{3}(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}) = \frac{1}{3}(\varepsilon'_{xx} + \varepsilon'_{yy} + \varepsilon'_{zz}).$$

Таким чином, при переході до будь-якої іншої системи координат при системних зрушеннях змінюються усі компоненти тензора, а їх сума не змінюється, тобто є інваріантом. При цьому відбувається зміна об'єму аномалії на величину ΔV [32]:

$$\frac{\Delta V}{V} = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}.$$

У разі, коли деформація відбувається без зміни об'єму:

$$0 = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}.$$

Таким чином, можна зробити висновок про те, що наявність інваріанту тензора також свідчить про стабільність аномалії в басейні першого атрактора. Про це свідчить і інваріантність середньоквадратичної деформації ε_u , яка визначається по формулі:

$$\varepsilon_u = \sqrt{\varepsilon_{xx}^2 + \varepsilon_{yy}^2 + \varepsilon_{zz}^2 + 2(\varepsilon_{xy}^2 + \varepsilon_{yz}^2 + \varepsilon_{zx}^2)}. \quad (2)$$

Властивість тензорів, яке полягає в тому, що сумою матриць тензорів є матриця-тензор, елементи якої є сумою відповідних елементів доданків, дозволяє розділити підсумковий тензор деформацій на кульову (об'ємну) і девіаторну (зрушення), при якій об'єм частини не змінюється.

Аналіз отриманих кульової і девіаторної частин дозволяє зробити висновок про можливий перехід в басейн другого атрактора, викликаного тим, що при дії певних збурень деформації перестають бути системними зрушеннями. Таким чином, може бути сформульована підсумкова аксіома.

Аксіома 6. Контрольні точки, в яких деформації перестають бути системними зрушеннями (згідно тензора деформацій) є точками біфуркації і характеризують перехід аномалії в один з типів елементарних катастроф.

Значення для обчислень за вказаними формулами визначаються з часових рядів, які побудовані по знімках, а також які отримані в результаті проведення різних оверлейних операцій з фрагментами відповідних "критерійних дерев". При цьому доцільно врахувати результати використання методу історичної аналогії.

Таким чином, розроблений механізм опису результатів дії обурюючих чинників на аномалію з використанням тензорного апарату і алгоритму вибору точок максимальної ентропії, які характеризують процес поширення аномалії, дозволяють визначити точки біфуркації для визначення зони переходу з басейну одного атрактора в інший. Сформульовані аксіоми, виражають необхідні і достатні умови можливості виміру переваг при побудові предиктора в умовах невизначеності.

5.2 Програмна реалізація запропонованої технології обробки даних космічного моніторингу водних акваторій у програмно-технологічному комплексі

В даному підрозділі розглядаються алгоритми і результати програмної реалізації методів і моделей, що були запропоновані для обробки даних одержаних в різних спектральних діапазонах з супутників ДЗЗ.

Основне вікно програми представлене на рис.5.17.

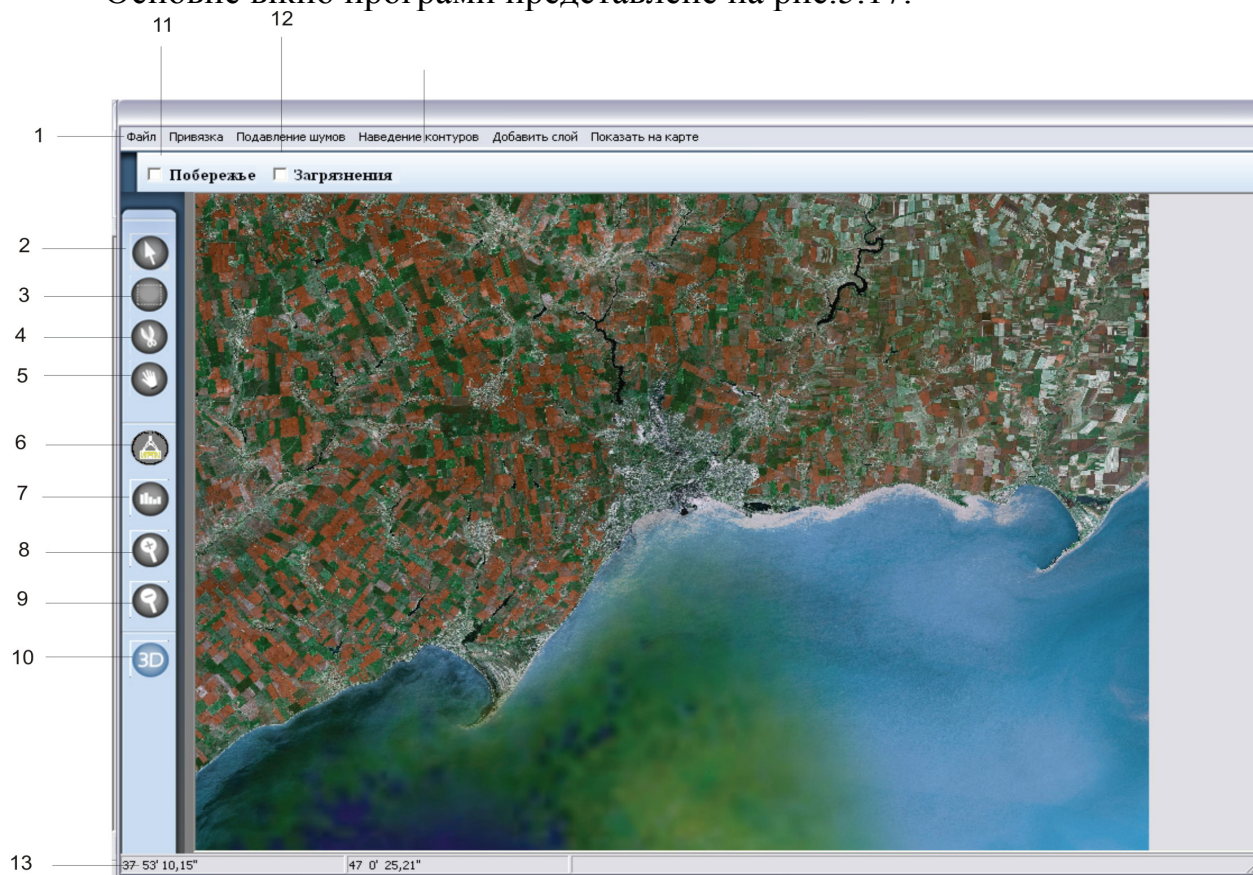


Рис.5.17 - Зовнішній вигляд програми

- 1 - основне меню
- 2 - відміни виділення фрагмента знімка
- 3 - режим виділення фрагмента
- 4 - режим автоматичної векторизації
- 5 - режим «переміщення» зображення для зміни зони перегляду
- 6 - режим проведення вимірювань по знімку
- 7 - робота з гістограмою розподілення яскравості спектральних піддіапазонів
- 8, 9 - режими зміни масштабу (збільшення/зменшення)
- 10 - побудова 3D моделі вказаної ділянки
- 11 - візуалізація берегової лінії (векторний шар)
- 12 - візуалізація неоднорідностей, одержаних на цьому знімку (векторний шар)
- 13 - рядок перерахованих географічних координат поточного положення манипулятора «миші».

Умовно програму можна розділити на декілька блоків:

- блок прив'язки (A0);
- блок низькочастотних шумоподавляючих фільтрів (A1);
- блок високочастотних контурунаводячих фільтрів (A1);
- блок контрастування, заснований на роботі з гістограмою розподілу яскравості (A1);
- блок автоматичної сегментації і векторизації (A1,A2);
- блок вимірювання (A0);
- блок роботи із зовнішніми векторними даними (A2);
- блок відображення знімка на карті Азовського (A2).

Алгоритм реалізації блоку прив'язки.

У основі роботи блоку прив'язки лежать алгоритми, що розглянуті у пункті 5.1. Знімок може бути отриманий з різних джерел. Якщо знімок супроводжується пояснюючою інформацією у форматі MAP, прив'язка здійснюється з його використанням.

Приклад лістингу файлу berd_16.map наведений

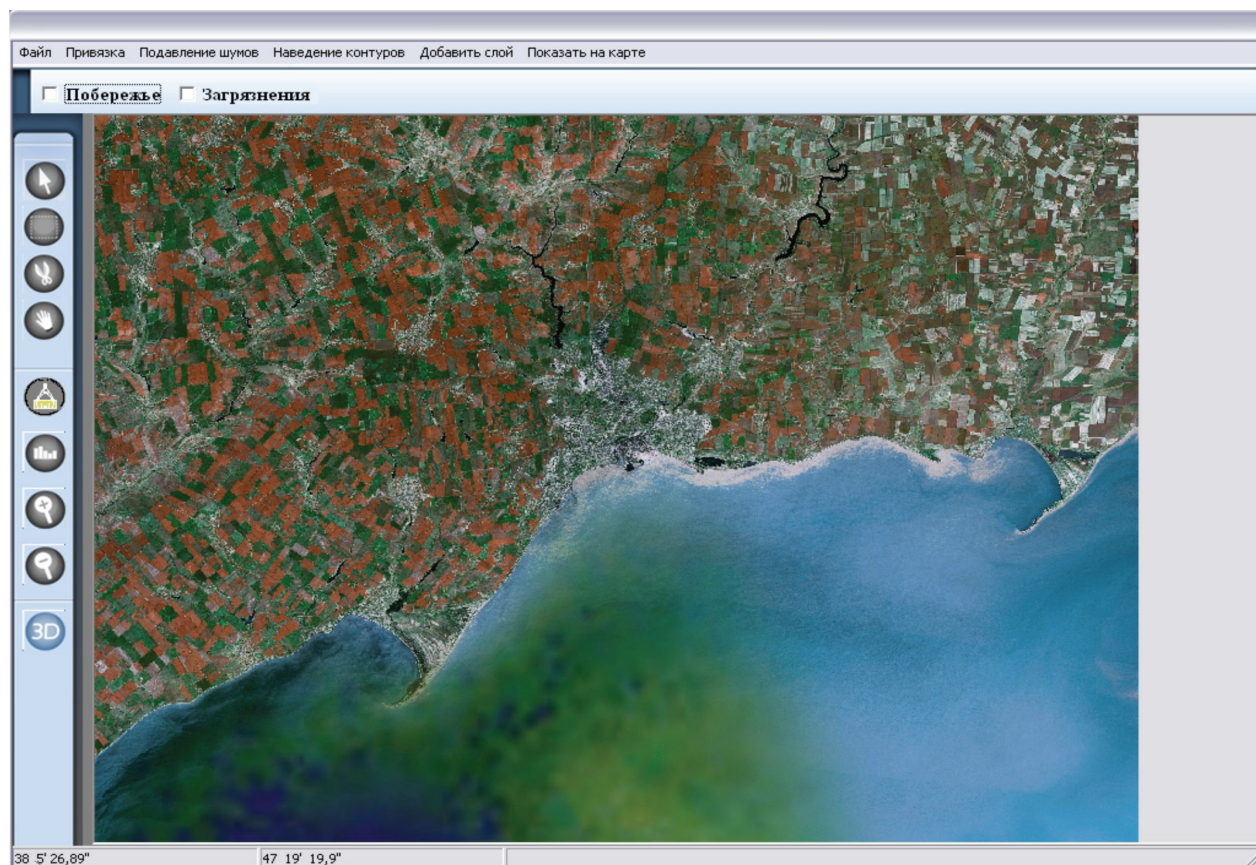
1. OziExplorer Map Data File Version 2.2
2. berd_16.jpg
3. E:\Geo_Soft\berd_16.jpg
4. 1,Map Code
5. WGS 84,, 0.0000, 0.0000,WGS 84
6. Reserved 1
7. Reserved 2
8. Magnetic Variation,,,E
9. Map Projection,Mercator,PolyCal,No,AutoCalOnly,No,BSBUseWPX,No
10. Point01,xy, 0, 0,in, deg, 46, 49.66708198,N, 36, 32.86680221,E, grid, , , ,N
11. Point02,xy, 5476, 7317,in, deg, 46, 36.75063512,N, 36, 46.96706771,E, grid, , , ,N
12. Point03,xy, 0, 7317,in, deg, 46, 36.75063512,N, 36, 32.86680221,E, grid, , , ,N
13. Point04,xy, 5476, 0,in, deg, 46, 49.66708198,N, 36, 46.96706771,E, grid, , , ,N
14. Point05,xy, 2738, 3658,in, deg, 46, 43.21441785,N, 36, 39.91693496,E, grid, , , ,N
15. Point06,xy, 2738, 0,in, deg, 46, 49.66708198,N, 36, 39.91693496,E, grid, , , ,N
16. Point07,xy, 0, 3658,in, deg, 46, 43.21441785,N, 36, 32.86680221,E, grid, , , ,N
17. Point08,xy, 5476, 3658,in, deg, 46, 43.21441785,N, 36, 46.96706771,E, grid, , , ,N
18. Point09,xy, 2738, 7317,in, deg, 46, 36.75063512,N, 36, 39.91693496,E, grid, , , ,N
19. Point10,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
20. Point11,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
21. Point12,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
22. Point13,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
23. Point14,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
24. Point15,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
25. Point16,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
26. Point17,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
27. Point18,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
28. Point19,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N

29. Point20,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
30. Point21,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
31. Point22,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
32. Point23,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
33. Point24,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
34. Point25,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
35. Point26,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
36. Point27,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
37. Point28,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
38. Point29,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
39. Point30,xy, , ,in, deg, , ,N, , ,W, grid, , , ,N
40. Projection Setup
41. Map Feature = MF ; Map Comment = MC These follow if they exist
42. Track File = TF These follow if they exist
43. Moving Map Parameters = MM? These follow if they exist
44. MM0,Yes
45. MMPNUM,4
46. MMPXY,1,0,0
47. MMPXY,2,5476,0
48. MMPXY,3,5476,7317
49. MMPXY,4,0,7317
50. MMPLL,1, 36.54778003, 46.82778469
51. MMPLL,2, 36.78278446, 46.82778469
52. MMPLL,3, 36.78278446, 46.61251058
53. MMPLL,4, 36.54778003, 46.61251058
54. MM1B,3.27514138
55. MOP,Map Open Position,0,0
56. IWH,Map Image Width/Height,5476,7317

У цьому файлі міститься інформація про файл-джерело (рядки 2, 3), проекції і вид еліпсоїда, що був використаний при прив'язці (рядки 5, 9), опорні точки, які використовувалися для прив'язки (рядки 10-39), екранні і розраховані географічні координати кутів знімка (рядки 46-53). Використовуючи дані цього файлу здійснюється прив'язка знімка, і після завантаження його в основне вікно, відстежується переміщення миші при проведенні перерахунка в географічні координати (рис. 5.18).

При отриманні знімка з інших джерел, необхідно провести попередню прив'язку по відомих опорних точках. Для цього при виборі пункту меню «Прив'язка» з'явиться діалогове вікно вибору проекції, що використовувалась при прив'язці (рис.5.19).

Після вибору проекції, яка була використана, подвійним кліком маніпулятора «миші» наголошуються опорні точки і вводяться відповідні їм координати в заданій проекції (рис.5.20). Після закінчення введення опорних точок (не менш 3-х, таких, що знаходяться не на одній прямій) проводиться розрахунок коефіцієнтів і прив'язка знімка.



Географические координаты привязанного снимка

Рис.5.18 - Перерахунок екранних координат в географічні на основі коефіцієнтів, які були розраховані

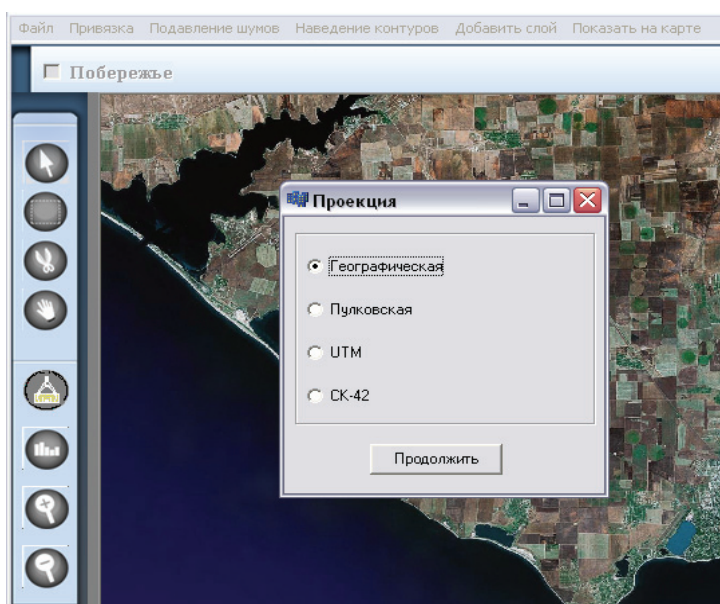


Рис.5.19 - Завдання географічної проекції при прив'язці

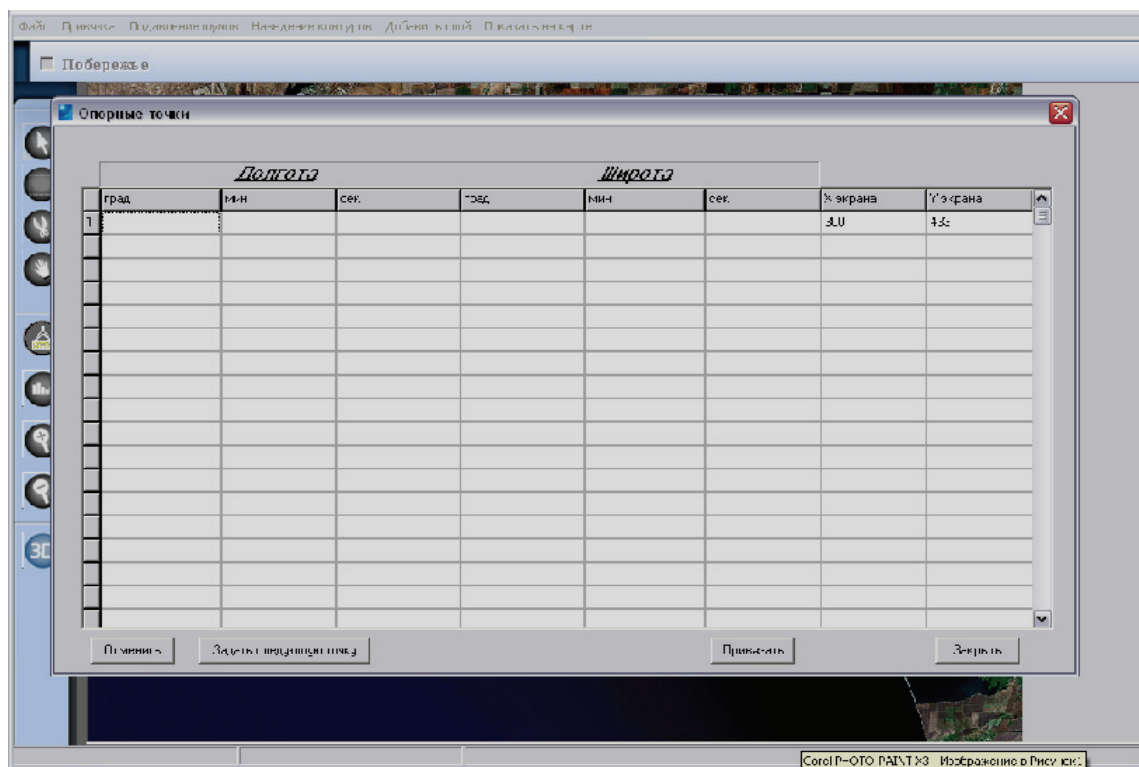


Рис. 5.20 - 3 опорных точек для прив'язки

Лістинг фрагменту програми розрахунка коефіцієнтів прив'язки

```
double *TForm_Osn::GEO_koef(double* L, double* B, double* X, double* Y, int
schet_point)
1. {double koef[6], del, mat_B[3][3], nev1, nev2, lam0=-1, lam1=-1, lam2=-1,
2. bet0=-1, bet1=-1, bet2=-1;
3. for(int ik0=0; ik0<schet_point; ik0++){
4. for(int ik1=0; ik1<schet_point; ik1++){
5. if(ik1==ik0)continue;
6. for(int ik2=0; ik2<schet_point; ik2++){
7. if(ik2==ik0 || ik2==ik1)continue;
8. del=X[ik1]*Y[ik2]-X[ik2]*Y[ik1]+X[ik0]*Y[ik1]-X[ik0]*Y[ik2]+ X[ik2]*Y[ik0]-
X[ik1]*Y[ik0];
9. if(del==0) continue;
10. mat_B[0][0]=(X[ik1]*Y[ik2]-X[ik2]*Y[ik1])/del;
11. mat_B[0][1]=(X[ik2]*Y[ik0]-X[ik0]*Y[ik2])/del;
12. mat_B[0][2]=(X[ik0]*Y[ik1]-X[ik1]*Y[ik0])/del;
13. mat_B[1][0]=(Y[ik1]-Y[ik2])/del; mat_B[1][1]=(Y[ik2]-Y[ik0])/del;
14. mat_B[1][2]=(Y[ik0]-Y[ik1])/del; mat_B[2][0]=(X[ik2]-X[ik1])/del;
15. mat_B[2][1]=(X[ik0]-X[ik2])/del; mat_B[2][2]=(X[ik1]-X[ik0])/del;
16. lam0=mat_B[0][0]*L[ik0]+mat_B[0][1]*L[ik1]+mat_B[0][2]*L[ik2];
17. lam1=mat_B[1][0]*L[ik0]+mat_B[1][1]*L[ik1]+mat_B[1][2]*L[ik2];
18. lam2=mat_B[2][0]*L[ik0]+mat_B[2][1]*L[ik1]+mat_B[2][2]*L[ik2];
19. bet0=mat_B[0][0]*B[ik0]+mat_B[0][1]*B[ik1]+mat_B[0][2]*B[ik2];
20. bet1=mat_B[1][0]*B[ik0]+mat_B[1][1]*B[ik1]+mat_B[1][2]*B[ik2];
21. bet2=mat_B[2][0]*B[ik0]+mat_B[2][1]*B[ik1]+mat_B[2][2]*B[ik2];
22. if(ik0==0 && ik1==1 && ik2==2) { nev1=0;
```

```

23. for(int i=0; i<schet_point; i++) {
24. nev1+=fabs(lam0+lam1*X[i]+lam2*Y[i]-L[0]);
25. nev1+=fabs(bet0+bet1*X[i]+bet2*Y[i]-B[0]); }
26. koef[0]=lam0; koef[1]=lam1; koef[2]=lam2;
27. koef[3]=bet0; koef[4]=bet1; koef[5]=bet2; }
28. else { nev2=0;
29. for(int i=0; i<schet_point; i++) {
30. nev2+=fabs(lam0+lam1*X[i]+lam2*Y[i]-L[0]);
31. nev2+=fabs(bet0+bet1*X[i]+bet2*Y[i]-B[0]); }
32. if(nev2<nev1) { nev1=nev2;
33. koef[0]=lam0; koef[1]=lam1; koef[2]=lam2;
34. koef[3]=bet0; koef[4]=bet1; koef[5]=bet2; } } }
35. return &koef[0]; }

```

5.2.1 Алгоритм реалізації функціональної моделі зорового сприйняття з урахуванням фізіологічних аспектів зору (блок визначення мінімально помітного критерійного елементу при локалізації змін на знімку)

5.2.1.1 Блок низькочастотних шумоподавляючих фільтрів

Найчастіше шумозаглушення служить для поліпшення візуального сприйняття, але також використовується як попередній етап для сегментації зображення для подальшої векторизації і розпізнавання. Як вже наголошувалося раніше, джерела шуму можуть бути різними:

- неідеальне устаткування для захоплення зображення - відеокамера, сканер;
- перешкоди при передачі по аналогових каналах - наведення від джерел електромагнітних полів, власні шуми активних компонентів (підсилювачів) лінії передачі (приклад - телевізійний сигнал);
- неточності (погані фільтри) при виділенні яскравості і різностно кольорових сигналів з аналогового композитного сигналу і тому подібне ;
- при зйомці морської поверхні при процесі сегментації шумом так само є наявність відблисків на водній поверхні і неоднорідність забруднення.

Відповідно, шуми теж бувають різних видів. Найпоширеніші:

- білий шум - сигнал, відліки якого не корелюють один з одним, і його різновид - білий шум Гауса, який виникає, зокрема, за поганих умов прийому сигналу і описується наступною функцією щільності розподілу амплітуд:

$$p(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}}$$

де d - амплітуда шуму

- параметр розподілу.
- імпульсний шум - випадкові ізольовані точки на зображенні, значення яких значно відрізняється від значень точок, що оточують їх (зазвичай виникає при передачі по аналогових каналах).

- кольорові плями, які є характерними для аналогового сигналу (наприклад, присутні у відеозображенні, оцифрованому з відеокасет VHS).

Менш поширені види шуму - шум вигляду «сіль» і «перець» і вертикальні подряпини (характерні для фотоплівки, що виникають при механічному пошкодженні емульсії на плівці).

Алгоритми шумозаглушення зазвичай спеціалізуються на придушенні якогось конкретного виду шуму.

Поки не існує універсальних фільтрів, що детектують і пригнічують всі види шумів. Проте багато шумів можна досить добре наблизити моделлю білого шуму Гауса, тому більшість алгоритмів орієнтована на придушення саме цього виду шуму[3а].

Реалізація методів фільтрації складається з чотирьох основних етапів:

1. формування локальної околиці і її центральної точки;
2. проведення операції над пікселями даної локальної околиці;
3. привласнення результату операції (п. 2) центральній точці околиці;
4. повторення операцій, що описані в п.п. 1 – 3, для кожної точки зображення.

Основна проблема при просторовому шумозаглушенні полягає в тому, щоб не зіпсувати чіткість країв предметів на зображенні, а також дрібні деталі, які сумірні по амплітуді з шумом.

Ще однією складністю є оцінка якості придушення шуму.

Найчастіше для цієї мети використовують метрику PSNR (peak signal-to-noise ratio - пікове співвідношення сигнал/шум) [59], яка визначається формулою:

$$PSNR(x, y) = 20 * \log_{10} \frac{255}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1..N} d(x_i, y_i)^2}}$$

де x_i, y_i - i -е пікселі зашумленого і відфільтрованого зображень

N - загальне число пікселів на кожному зображенні

$d(x_i, y_i)$ - різниця між кольорами відповідних пікселів (для відтінків сірого це просто різниця значень пікселів, а для кольорових зображень - евклідова відстань між пікселями в колірному просторі).

Чим ближче відфільтроване зображення до оригінального, тим більше значення PSNR, і тим вище вважається якість роботи алгоритму.

Проте цей і інший аналогічний метриці, дозволяють оцінювати лише середньоквадратичну різницю між зображеннями, тому кращі результати (з погляду метрики) не завжди відповідають якнайкращому візуальному сприйняттю.

Наприклад, більш розмите зображення, в якому разом з шумом були видалені дрібні деталі, можуть мати значення PSNR вище, ніж зображення з більш акуратно пригніченим шумом. Візуальні оцінки при цьому покажуть перевагу другого зображення. При необхідності подальшої сегментації зображення, такі оцінки широко застосовуються.

У роботі розглядалося декілька базових підходів до просторового шумозаглушення [36]:

1. Простий пороговий фільтр.
2. Лінійне усереднювання пікселів по сусідах (арифметичне середнє).
3. Медіанна фільтрація.
4. Математична морфологія.
5. Гауссівське розмиття.
6. Методи на основі вейвлет-перетворення.
7. Метод головних компонент.
8. Анізотропна дифузія.
9. Фільтри Вінера.

Критерієм вибору фільтру є простота його реалізації, мінімальний час, що є необхідним на обробку, а також можливість використання для виділення забруднень різного генезису.

На рис. 5.21 представлене вікно програми із списком вибраних низькочастотних фільтрів.

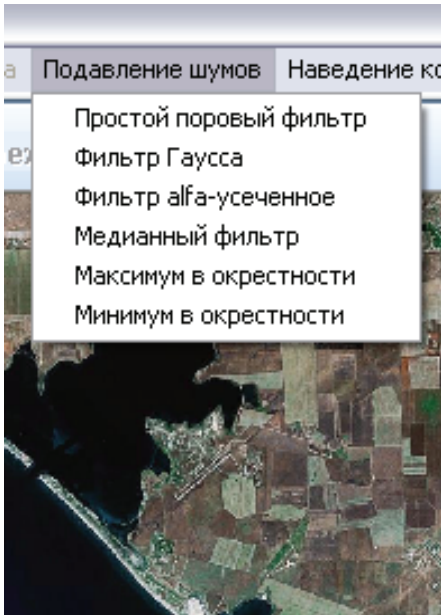


Рис.5.21 - Низькочастотні фільтри

5.2.1.2 Простий пороговий фільтр

O ₁	O ₂	O ₃
O ₄	X	O ₅
O ₆	O ₇	O ₈

Основна ідея видалення шуму – порівняння значення спектральних складових пікселя з усередненим значення спектральних складових пікселів в просторовій околиці. Для кожного пікселя аналізуються сусідні для нього пікселі, які розташовуються в деякому прямокутному вікні навколо цього пікселя.

$$\text{якщо } \left\{ X - \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{i=8} O_i \right\} > \varepsilon \text{ те } X = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{i=8} O_i$$

Чим більше узятий розмір вікна, тим сильніше відбувається усереднювання. Чим більше величина цього порогу, тим сильніше відбувається усереднювання.

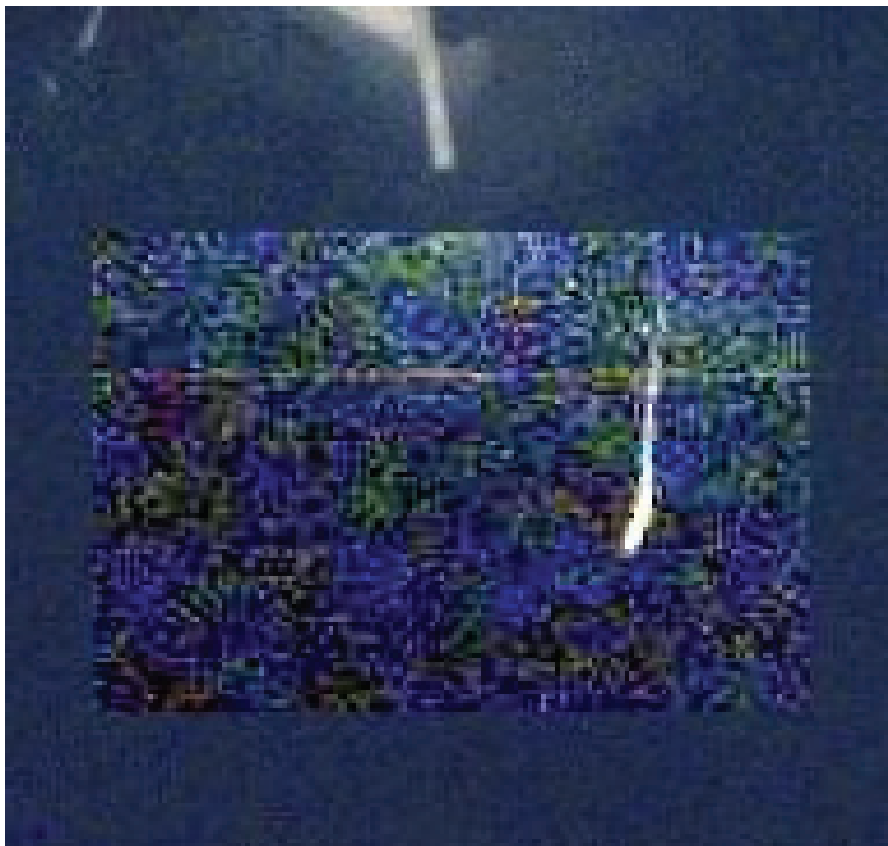
Основна перевага цього алгоритму – простота, а отже і малий час, що є необхідним для його реалізації. Але він дає добрий результат лише при видаленні імпульсного некорельованого шуму (рис.5.22 б), оскільки не вирівнює відблиски на морській поверхні (рис.5.22 в).



а) Початкове зображення



б) Зображення, що було відфільтроване



в) Ділянка відфільтрованого зображення з підвищеною контрастністю

Рис.5.22 - Використання простого порогового фільтра при обробці знімка ділянки морської поверхні при розмірі вікна 3x3 і величині порогу 100

Лістинг фрагменту програми, яка реалізовує простий пороговий фільтр

```
void TFormR::Por_filtр(int x1, int y1, int x2, int y2, int por) {
1.   FormG->ProgressBar3->Visible=true;
2.   Bitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height)      Form_Osn-
   >Im_Photo->IEBitmap->Canvas, Rect(x1,y1,x2,y2));
3.   TColor col;
4.   int st,g,r,b, Pr, Pg, Pb;
5.   FormG->ProgressBar3->Min=0; FormG->ProgressBar3->Max=Bitmap->Height;
6.   for(int j=1;j<Bitmap->Height-1;j++){
7.   FormG->ProgressBar3->Position=j; FormG->ProgressBar3->Repaint();
8.   for(int i=1;i<Bitmap->Width-1;i++){
9.   col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j];
10.  Pr=GetRValue(col); Pg=GetGValue(col); Pb=GetBValue(col);
11.  col=Bitmap->Canvas->Pixels[i-1][j];
12.  r=GetRValue(col); g=GetGValue(col); b=GetBValue(col);
13.  col=Bitmap->Canvas->Pixels[i-1][j-1];
14.  r+=GetRValue(col); g+=GetGValue(col); b+=GetBValue(col);
15.  col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j-1];
16.  r+=GetRValue(col); g+=GetGValue(col); b+=GetBValue(col);
17.  col=Bitmap->Canvas->Pixels[i+1][j-1];
18.  r+=GetRValue(col); g+=GetGValue(col); b+=GetBValue(col);
```

```

19. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i+1][j];
20. r+=GetRValue(col); g+=GetGValue(col); b+=GetBValue(col);
21. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i+1][j+1];
22. r+=GetRValue(col); g+=GetGValue(col); b+=GetBValue(col);
23. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+1];
24. r+=GetRValue(col); g+=GetGValue(col); b+=GetBValue(col);
25. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i-1][j+1];
26. r+=GetRValue(col); g+=GetGValue(col); b+=GetBValue(col);
27. r/=8; g/=8; b/=8;
28. if(abs(Pr-r)>por)Pr=r; if(abs(Pg-g)>por)Pg=g; if(abs(Pb-b)>por)Pb=b;
29. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(Pr,Pg,Pb)); } }
30. FormR->ImageEnView1->IEBitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap-
    >Width,Bitmap->Height) Bitmap1->Canvas, Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height));
31. FormR->ImageEnView1->Repaint();
32. FormG->ProgressBar3->Visible=false; }

```

5.2.1.3 Медіанна фільтрація

Медіанна фільтрація - це стандартний спосіб придушення імпульсного шуму. Для кожного пікселя в деякому його оточенні (вікні) шукається медіанне значення і привласнюється цьому пікселю. Визначення медіанного значення: якщо масив пікселів відсортувати по їх значенню, медіаною буде серединний елемент цього масиву. Розмір вікна відповідно повинен бути непарним, щоб цей серединний елемент існував.

Медіану також можна визначити формулою $med = \arg \min_{f_i \in W} \sum_{f_j \in W} |f_i - f_j|$,

де W - множина пікселів, серед яких шукається медіана

f_i - значення яскравостей цих пікселів.

Для кольорових зображень використовується векторний медіанний фільтр (VMF): $med = \arg \min_{F_i \in W} \sum_{F_j \in W} d(F_i, F_j)$,

де F_i - значення пікселів в тривимірному колірному просторі,

d - довільна метрика (наприклад, евклідова).

Медіанний фільтр не впливає на ступінчасті або пилкоподібні функції, що звичайно є бажаною властивістю.

Проте цей фільтр пригнічує імпульсні сигнали, тривалість яких складає менше половини ширини вікна. Фільтр також сплющення вершини трикутної функції.

Можливості аналізу дії медіанного фільтру є обмеженими. Медіана суми двох довільних послідовностей $f(j)$ і $g(j)$ не є рівною сумі їх медіан.

Можливі різні стратегії застосування медіанного фільтру для придушення шумів. Одна з них рекомендує починати з медіанного фільтру, вікно якого охоплює три елементи зображення.

Якщо ослаблення сигналу не є значним - вікно фільтру розширюють до п'яти елементів. Так поступають до тих пір, поки медіанна фільтрація починає

шкодити більше, ніж користь. Інша можливість полягає в здійсненні каскадної медіанної фільтрації сигналу з використанням фіксованої або змінної ширини вікна.

У загальному випадку ті області, які залишаються без зміни після одноразової обробки фільтром, не міняються і після повторної обробки. Області, в яких тривалість імпульсних сигналів складає менше половини ширини вікна, піддаватимуться змінам після кожного циклу обробки.

Концепцію медіанного фільтра легко узагальнити на два вимірювання, застосовуючи двовимірне вікно бажаної форми, наприклад прямокутне або близьке до кругового.

Очевидно, що двовимірний медіанний фільтр з вікном розміру $L \times L$ забезпечує ефективніше придушення шуму, чим послідовно застосовані горизонтальний і вертикальний одновимірні медіанні фільтри з вікном розміру $L \times 1$. Двовимірна обробка, проте, приводить до ослаблення сигналу і збільшення часу обробки.

Медіанний фільтр ефективніше пригнічує розрізнені імпульсні перешкоди, чим гладкі шуми. Медіанну фільтрацію зображень в цілях придушення шумів слід вважати евристичним методом. Її не можна застосовувати. Навпаки, слід перевіряти одержувані результати, щоб переконатися в доцільності медіанної фільтрації. У програмі надана можливість вибору форми і розміру вікна (рис.5.23).

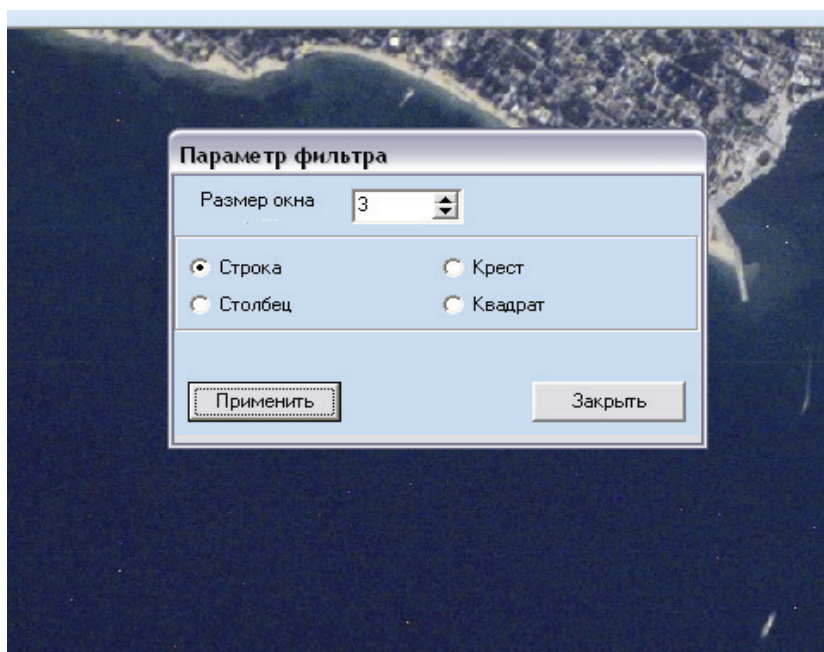


Рис.5.23 - Вибір розміру і форми вікна для медіанної фільтрації

Лістинг фрагменту програмного модуля, що реалізовує алгоритм медіанної фільтрації.

```
void TFormR::Median(int x1, int y1, int x2, int y2, int edi)
```

1. { short *Mas_R, *Mas_G, *Mas_B; int size; TColor Mas;
2. Bitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height) Form_Osn->Im_Photo->IEBitmap->Canvas, Rect(x1,y1,x2,y2));// eiiey yeeai

```

3. FormG->ProgressBar4->Visible=true;
4. FormG->ProgressBar4->Min=0;
5. FormG->ProgressBar4->Max=Bitmap->Width;
6. if(FormG->RG_Median->ItemIndex==0){           Mas_R=new short[edi]; Mas_G=new
   short[edi]; Mas_B=new short[edi];
7. for(int j=0;j<(y2-y1);j++){
8. FormG->ProgressBar4->Position=j;
9. FormG->ProgressBar4->Repaint();
10. for(int i=0; i<(x2-x1); i++){
11. for(int priost=0;priost<edi;priost++){
12. Mas_R[priost]=GetRValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+priost][j]);
13. Mas_G[priost]=GetGValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+priost][j]);
14. Mas_B[priost]=GetBValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+priost][j]); }
15. bool peres=false;
16. do {peres=false;
17. for(int p=0; p<edi;p++)
18. {if(Mas_R[p]>Mas_R[p+1])
19. {int h=Mas_R[p]; Mas_R[p]=Mas_R[p+1];Mas_R[p+1]=h;
20. peres=true; } } } while (peres==true);
21. bool peres1=false;
22. do {peres1=false;
23. for(int p=0; p<edi;p++)
24. {if(Mas_G[p]>Mas_G[p+1])
25. {int h=Mas_G[p]; Mas_G[p]=Mas_G[p+1];Mas_G[p+1]=h;
26. peres1=true; } } } while (peres1==true);
27. bool peres2=false;
28. do {peres2=false;
29. for(int p=0; p<edi;p++)
30. {if(Mas_B[p]>Mas_B[p+1])
31. {int h=Mas_B[p]; Mas_B[p]=Mas_B[p+1];Mas_B[p+1]=h;
32. peres2=true; } } }
33. while (peres2==true);
34. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=
   TColor(RGB(Mas_R[edi/2],Mas_G[edi/2],Mas_B[edi/2]));}
35. if(FormG->RG_Median->ItemIndex==1)
36. { Mas_R=new short[edi]; Mas_G=new short[edi]; Mas_B=new short[edi];
37. for(int i=0;i<(x2-x1);i++){
38. FormG->ProgressBar4->Position=i; FormG->ProgressBar4->Repaint();
39. for(int j=0; j<(y2-y1); j++){
40. for(int priost=0;priost<edi;priost++){
41. Mas_R[priost]=GetRValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+priost]);
42. Mas_G[priost]=GetGValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+priost]);
43. Mas_B[priost]=GetBValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+priost]); }
44. bool peres=false;
45. do {peres=false;
46. for(int p=0; p<edi;p++){if(Mas_R[p]>Mas_R[p+1])
47. {int h=Mas_R[p]; Mas_R[p]=Mas_R[p+1];Mas_R[p+1]=h;
48. peres=true; } } } while (peres==true);
49. bool peres1=false;
50. do {peres1=false;
51. for(int p=0; p<edi;p++)
52. {if(Mas_G[p]>Mas_G[p+1])

```



```

53. {int h=Mas_G[p]; Mas_G[p]=Mas_G[p+1];Mas_G[p+1]=h;
54. peres1=true; } } } while (peres1==true);
55. bool peres2=false;
56. do {peres2=false;
57. for(int p=0; p<edi;p++)
58. {if(Mas_B[p]>Mas_B[p+1])
59. {int h=Mas_B[p]; Mas_B[p]=Mas_B[p+1];Mas_B[p+1]=h;
60. peres2=true; } } } while (peres2==true);
61. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=
    TColor(RGB(Mas_R[edi/2],Mas_G[edi/2],Mas_B[edi/2])); }
62. if(FormG->RG_Median->ItemIndex==2){ size=edi*2-1;
63. Mas_R=new short[size]; Mas_G=new short[size]; Mas_B=new short[size];
64. for(int i=0; i<x2-x1-edi;i++){
65. FormG->ProgressBar4->Position=i; FormG->ProgressBar4->Repaint();
66. for(int j=0; j<y2-y1-edi; j++){ int k=0;
67. for(int prirost=0;prirost<edi;prirost++){
68. Mas_R[k]=GetRValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j]);
69. Mas_G[k]=GetGValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j]);
70. Mas_B[k]=GetBValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j]);
71. k++;
72. if(prirost!=edi/2){
73. Mas_R[k]=GetRValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+edi/2][j+prirost]);
74. Mas_G[k]=GetGValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+edi/2][j+prirost]);
75. Mas_B[k]=GetBValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+edi/2][j+prirost]);
76. k++; }
77. bool peres=false;
78. do {peres=false;
79. for(int p=0; p<size-1;p++)
80. {if(Mas_R[p]>Mas_R[p+1])
81. {int h=Mas_R[p]; Mas_R[p]=Mas_R[p+1];Mas_R[p+1]=h;
82. peres=true; } } } while (peres==true);
83. bool peres1=false;
84. do {peres1=false;
85. for(int p=0; p<size-1;p++)
86. {if(Mas_G[p]>Mas_G[p+1])
87. {int h=Mas_G[p]; Mas_G[p]=Mas_G[p+1];Mas_G[p+1]=h;
88. peres1=true; } } } while (peres1==true);
89. bool peres2=false;
90. do {peres2=false;
91. for(int p=0; p<size-1;p++)
92. {if(Mas_B[p]>Mas_B[p+1])
93. {int h=Mas_B[p]; Mas_B[p]=Mas_B[p+1];Mas_B[p+1]=h;
94. peres2=true; } } } while (peres2==true);
95. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=
    TColor(RGB(Mas_R[size/2],Mas_G[size/2],Mas_B[size/2])); }
96. if(FormG->RG_Median->ItemIndex==3)
97. { size=edi*edi;
98. Mas_R=new short[size]; Mas_G=new short[size]; Mas_B=new short[size];
99. for(int i=0;i<x2-x1-edi;i++){
100. FormG->ProgressBar4->Position=i; FormG->ProgressBar4->Repaint();
101. for(int j=0; j<y2-y1-edi; j++) { int k=0;
102. for(int prirost=1;prirost<edi;prirost++)

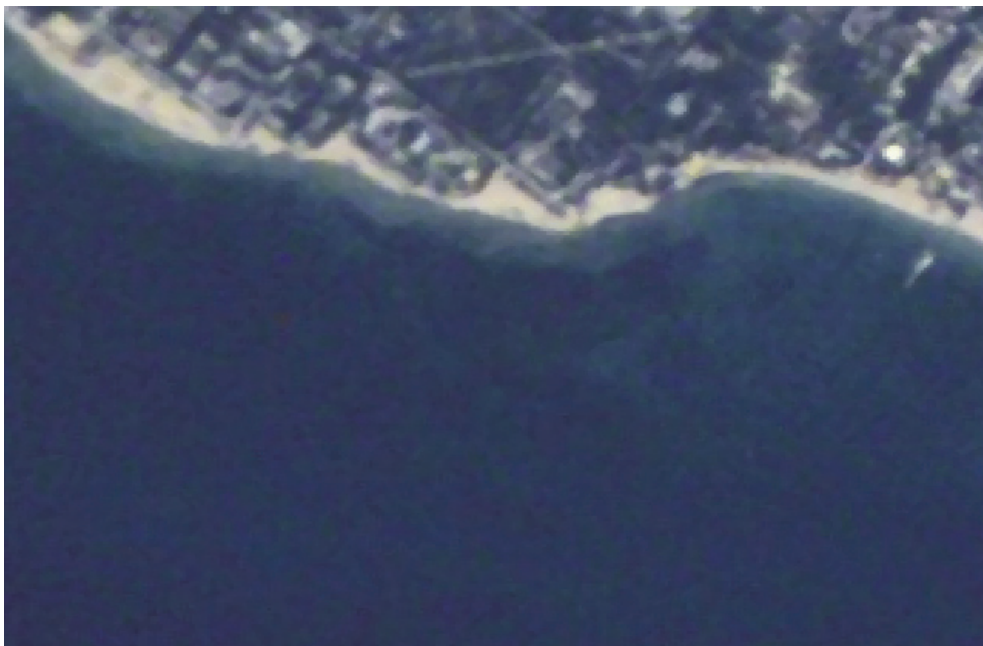
```

```

103. {      for(int prirost1=0;prirost1<edi;prirost1++){
104. Mas_R[k]=GetRValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j+prirost1]);
105. Mas_G[k]=GetGValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j+prirost1]);
106. Mas_B[k]=GetBValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j+prirost1]);
107. k++; } }
108. bool peres=false;
109. do {peres=false;
110. for(int p=0; p<size-1;p++)
111. {if(Mas_R[p]>Mas_R[p+1])
112. {int h=Mas_R[p]; Mas_R[p]=Mas_R[p+1];Mas_R[p+1]=h;
113. peres=true; } } } while (peres==true);
114. bool peres1=false;
115. do {peres1=false;
116. for(int p=0; p<size-1;p++){if(Mas_G[p]>Mas_G[p+1])
117. {int h=Mas_G[p]; Mas_G[p]=Mas_G[p+1];Mas_G[p+1]=h;
118. peres1=true; } } } while (peres1==true);
119. bool peres2=false;
120. do {peres2=false;
121. for(int p=0; p<size-1;p++)
122. {if(Mas_B[p]>Mas_B[p+1])
123. {int h=Mas_B[p]; Mas_B[p]=Mas_B[p+1];Mas_B[p+1]=h;
124. peres2=true; } } } while (peres2==true);
125. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=
    TColor(RGB(Mas_R[size/2],Mas_G[size/2],Mas_B[size/2]));}
126. ImageEnView1->IEBitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap1-> Width,Bitmap1-
    >Height) Bitmap1->Canvas, Rect(0,0,Bitmap1->Width,Bitmap1->Height));
127. delete[] Mas_R; delete[] Mas_G; delete[] Mas_B;
128. FormG->ProgressBar4->Visible=false; }

```

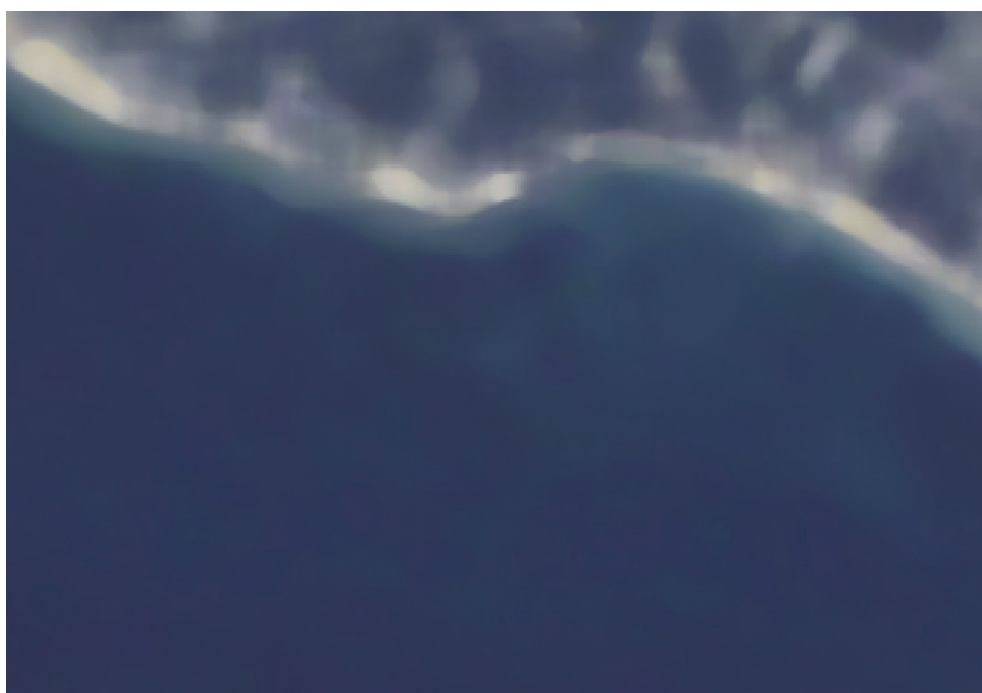
На рис.5.24 представлені результати використання медіанного фільтру в квадратному вікні різного розміру



а) розмір вікна фільтрації 3x3



б) розмір вікна фільтрації 7x7



в) розмір вікна фільтрації 15x15

Рис.5.24 - Використання медіанного фільтру для усунення хвилювання морської поверхні

Як видно з рис.5.24 використання вікна 3x3 дає усунення тільки для імпульсних некорельованих шумів типу «сіль», але не усуває шуми, що пов'язані з хвилюванням морської поверхні. Такі ж можливості має простий пороговий фільтр, при меншій витраті часових ресурсів. При виборі вікна

15x15 відбувається дуже сильне розмиття, що викличе погрішності при сегментації і великі часові витрати. Отже, розміри вікна повинні варіюватися від 5 до 13.

5.2.1.4 Фільтр Гауса

Гауссівське розмиття - це згортка зображення

$$P(m_1, m_2) = \sum_{n_1=1}^{N_1} \sum_{n_2=1}^{N_2} F(n_1, n_2) \cdot g(n_1, n_2; m_1, m_2),$$

$$\text{де } g(x, y) = A e^{-\frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}}$$

σ - задає ступінь розмиття і розміри вікна,

A - забезпечує нормування.

Фактично, це те ж усереднювання, тільки піксель змішується з тими, що оточують по певному закону, що заданий функцією Гауса. Матричний фільтр, порахований по вказаній формулі, називається гаусіаном; чим більший його розмір, тим сильніше розмиття. Оскільки даний фільтр сепарабелен, тобто представимо у вигляді

$$g(x, y) = f_1(x) \cdot f_2(y).$$

Згортку можна проводити послідовно по рядках і по стовпцях, що приводить до значного прискорення роботи методу при великих розмірах фільтру [32].

Зовнішній вигляд вікна діалогу вибору ступеня розмитості і розміру вікна представлений на рис.5.25.

Результат застосування фільтрації Гауса при різних значеннях, є представленим на рис.5.26.

```
void TFormR::Gaus(int x1, int y1, int x2, int y2, float sig)
1. { int p,ssig; float *obz, rr,gg,bb, koeff; int x,y; TColor col;
2. FormG->ProgressBar1->Visible=true;
3. ssig=(int)3*sig;
4. if(x1>x2){ p=x1; x1=x2; x2=p; }
5. if(y1>y2) { p=y1; y1=y2; y2=p; }
6. Bitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height)      Form_Osn-
   >Im_Photo->IEBitmap->Canvas, Rect(x1,y1,x2,y2));
7. obz=new float[(ssig+1)*(ssig+1)];
8. int k=0;
9. for(int i=0;i<(ssig+1);i++)
10. for(int j=0;j<(ssig+1);j++)
11. { obz[k]=exp(-(i*i+j*j)/(2*sig*sig))/(2*M_PI*sig*sig); k++; }
12. FormG->ProgressBar1->Min=0; FormG->ProgressBar1->Max=Bitmap->Width;
```

```

13. for (int i=ssig;i<=Bitmap->Width-ssig;i++)
14. { FormG->ProgressBar1->Position=i;
15. FormG->ProgressBar1->Repaint();
16. for (int j=ssig;j<=Bitmap->Height-ssig;j++) {
17. rr=0; gg=0; bb=0;
18. for(int i1=-ssig;i1<=ssig;i1++)
19. for(int j1=-ssig;j1<=ssig;j1++)
20. { коэфf=obz[abs(i1)*(ssig)+abs(j1)];
21. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i1+i][j1+j];
22. rr+=коэфf*GetRValue(col); gg+=коэфf*GetGValue(col); bb+=коэфf*GetBValue(col);}
23. if(rr>255)rr=255; if(gg>255)gg=255; if(bb>255)bb=255;
24. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(int(rr),int(gg),int(bb))); } }
25. FormR->ImageEnView1->IEBitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap-
    >Width,Bitmap->Height) Bitmap1->Canvas, Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height));
26. FormR->ImageEnView1->Repaint(); FormG->ProgressBar1->Visible=false;
27. delete []jobz; }

```

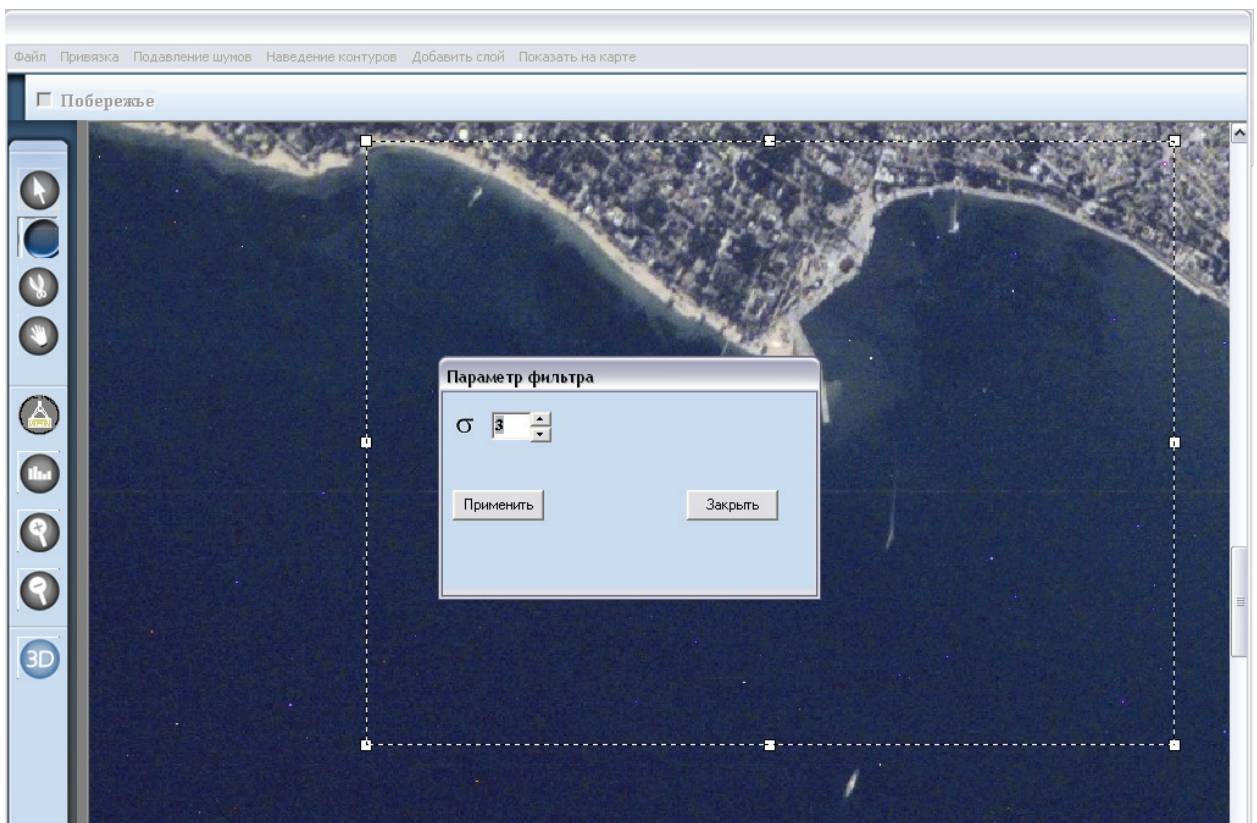


Рис.5.25 - Интерфейс wyboru розміру вікна і ступеня розмитості при використанні фільтру Гауса, що призначений для користувача



а) $\sigma=0.6$



б) $\sigma=2$



в) $\sigma=3$

Рис.5.26 - Результаты использования низкочастотного фильтра Гауса при різних значеннях σ

Як видно з рис. 5.22 використання фільтру Гауса дає шумоподавляючий ефект при значеннях σ близько 2. Такий ступінь розмитості може бути використаний при сегментації зображення і не приводить до значних погіршень векторизації.

5.2.1.5 Фільтр α -зрізане середнє

Фільтр типу α – зрізане середнє можна представити виразом

$$F_{out}(i, j) = \frac{1}{2} \left[\max_{(i,j) \in D} \{F(i, j)\} + \min_{(i,j) \in D} \{F(i, j)\} \right],$$

де $F_{out}(i,j)$ – середній колір пікселя.

Суть роботи фільтру, що представлений цим виразом, можна пояснити так. З локальної області D удаляються найбільші і найменші значення пікселів. Значення, що залишилися, усереднюються і формують результат.

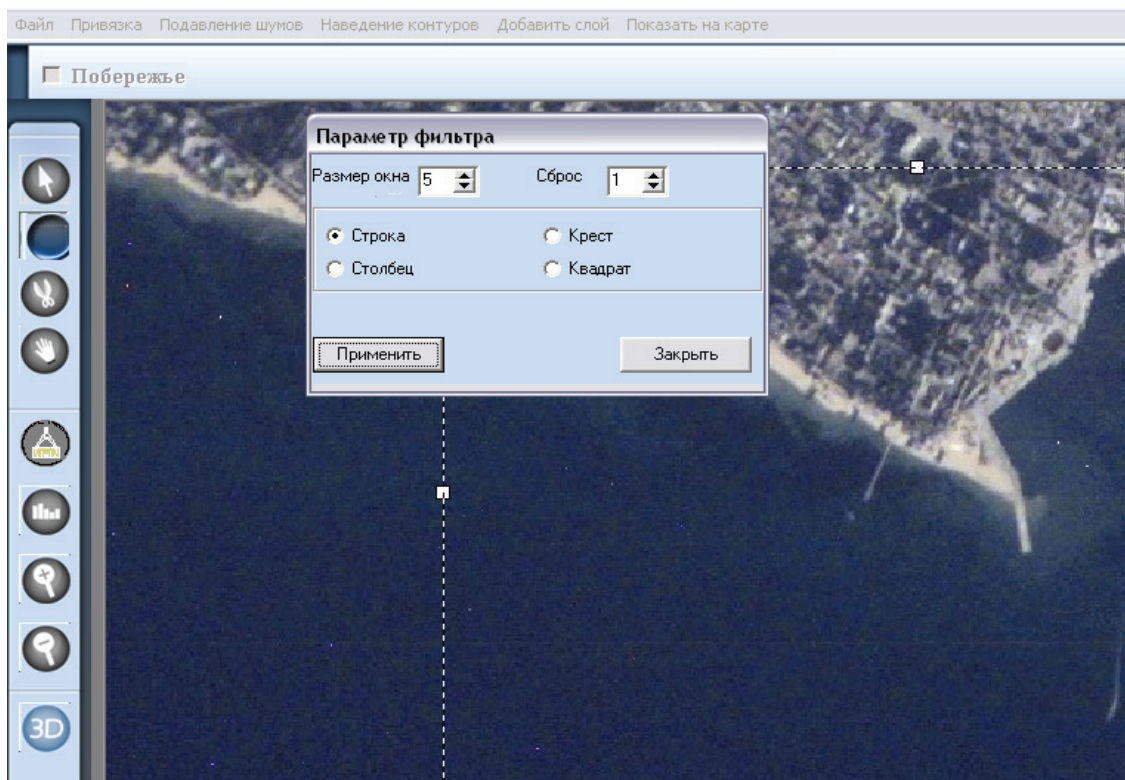


Рис.5.27 - Установка параметров при использовании фильтра типа α -зрізане середнє

```
void TFormR::Alfa(int x1, int y1, int x2, int y2, int edi, int pot)
{short *Mas_R, *Mas_G, *Mas_B; int size r,g,b; TColor Mas; int mm=pot/2;
1. Bitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height)      Form_Osn-
   >Im_Photo->IEBitmap->Canvas, Rect(x1,y1,x2,y2));
2. FormG->ProgressBar5->Visible=true;
3. FormG->ProgressBar5->Min=0; FormG->ProgressBar5->Max=Bitmap->Width;
4. if(FormG->RG_Median->ItemIndex==0)
```

```

5. { Mas_R=new short[edi]; Mas_G=new short[edi]; Mas_B=new short[edi];
6. for(int j=0;j<(y2-y1);j++){
7. FormG->ProgressBar5->Position=j; FormG->ProgressBar5->Repaint();
8. for(int i=0; i<(x2-x1); i++){
9. for(int prirost=0;prirost<edi;prirost++){
10. Mas_R[prirost]=GetRValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j]);
11. Mas_G[prirost]=GetGValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j]);
12. Mas_B[prirost]=GetBValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j]); }
13. bool peres=false;
14. do {peres=false;
15. for(int p=0; p<edi;p++)
16. {if(Mas_R[p]>Mas_R[p+1])
17. {int h=Mas_R[p]; Mas_R[p]=Mas_R[p+1];Mas_R[p+1]=h;
18. peres=true; } while (peres==true);
19. bool peres1=false;
20. do {peres1=false;
21. for(int p=0; p<edi;p++)
22. {if(Mas_G[p]>Mas_G[p+1])
23. {int h=Mas_G[p]; Mas_G[p]=Mas_G[p+1];Mas_G[p+1]=h;
24. peres1=true; } } } while (peres1==true);
25. bool peres2=false;
26. do {peres2=false;
27. for(int p=0; p<edi;p++)
28. {if(Mas_B[p]>Mas_B[p+1])
29. {int h=Mas_B[p]; Mas_B[p]=Mas_B[p+1];Mas_B[p+1]=h;
30. peres2=true; } } } while (peres2==true);
31. r=(Mas_R[mm]+Mas_R[edi-mm])/2; g=(Mas_G[mm]+Mas_G[edi-mm])/2;
32. b=(Mas_B[mm]+Mas_B[edi-mm])/2;
33. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(r,g,b)); }
34. if(FormG->RG_Median->ItemIndex==1)
35. { Mas_R=new short[edi]; Mas_G=new short[edi]; Mas_B=new short[edi];
36. for(int i=0;i<(x2-x1);i++){
37. FormG->ProgressBar5->Position=i; FormG->ProgressBar5->Repaint();
38. for(int j=0; j<(y2-y1); j++){
39. for(int prirost=0;prirost<edi;prirost++){
40. Mas_R[prirost]=GetRValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+prirost]);
41. Mas_G[prirost]=GetGValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+prirost]);
42. Mas_B[prirost]=GetBValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+prirost]); }
43. bool peres=false;
44. do {peres=false;
45. for(int p=0; p<edi;p++)
46. {if(Mas_R[p]>Mas_R[p+1])
47. {int h=Mas_R[p]; Mas_R[p]=Mas_R[p+1];Mas_R[p+1]=h;
48. peres=true; } } } while (peres==true);
49. bool peres1=false;
50. do {peres1=false;
51. for(int p=0; p<edi;p++)
52. {if(Mas_G[p]>Mas_G[p+1])
53. {int h=Mas_G[p]; Mas_G[p]=Mas_G[p+1];Mas_G[p+1]=h;
54. peres1=true; } } } while (peres1==true);
55. bool peres2=false;
56. do {peres2=false;

```

```

57. for(int p=0; p<edi;p++)
58. {if(Mas_B[p]>Mas_B[p+1])
59. {int h=Mas_B[p]; Mas_B[p]=Mas_B[p+1];Mas_B[p+1]=h;
60. peres2=true; } } } while (peres2==true);
61. r=(Mas_R[mm]+Mas_R[edi-mm])/2; g=(Mas_G[mm]+Mas_G[edi-mm])/2;
62. b=(Mas_B[mm]+Mas_B[edi-mm])/2;
63. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(r,g,b)); }
64. if(FormG->RG_Median->ItemIndex==2)
65. { size=edi*2-1;
66. Mas_R=new short[size]; Mas_G=new short[size]; Mas_B=new short[size];
67. for(int i=0; i<x2-x1-edi;i++){
68. FormG->ProgressBar5->Position=i; FormG->ProgressBar5->Repaint();
69. for(int j=0; j<y2-y1-edi; j++){ int k=0;
70. for(int prirost=0;prirost<edi;prirost++){
71. Mas_R[k]=GetRValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j]);
72. Mas_G[k]=GetGValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j]);
73. Mas_B[k]=GetBValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j]); k++;
74. if(prirost!=edi/2){
75. Mas_R[k]=GetRValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+edi/2][j+prirost]);
76. Mas_G[k]=GetGValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+edi/2][j+prirost]);
77. Mas_B[k]=GetBValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+edi/2][j+prirost]); k++; } }
78. bool peres=false;
79. do {peres=false;
80. for(int p=0; p<size-1;p++)
81. {if(Mas_R[p]>Mas_R[p+1])
82. {int h=Mas_R[p]; Mas_R[p]=Mas_R[p+1];Mas_R[p+1]=h;
83. peres=true; } } } while (peres==true);
84. bool peres1=false;
85. do {peres1=false;
86. for(int p=0; p<size-1;p++)
87. {if(Mas_G[p]>Mas_G[p+1])
88. {int h=Mas_G[p]; Mas_G[p]=Mas_G[p+1];Mas_G[p+1]=h;
89. peres1=true; } } } while (peres1==true);
90. bool peres2=false;
91. do {peres2=false;
92. for(int p=0; p<size-1;p++)
93. {if(Mas_B[p]>Mas_B[p+1])
94. {int h=Mas_B[p]; Mas_B[p]=Mas_B[p+1];Mas_B[p+1]=h;
95. peres2=true; } } } while (peres2==true);
96. r=(Mas_R[mm]+Mas_R[size-mm])/2; g=(Mas_G[mm]+Mas_G[size-mm])/2;
97. b=(Mas_B[mm]+Mas_B[size-mm])/2;
98. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(r,g,b)); }
99. if(FormG->RG_Median->ItemIndex==3) //KBAДPAT
100. { size=edi*edi; Mas_R=new short[size]; Mas_G=new short[size];
101. Mas_B=new short[size];
102. for(int i=0;i<x2-x1-edi;i++){
103. FormG->ProgressBar5->Position=i; FormG->ProgressBar5->Repaint();
104. for(int j=0; j<y2-y1-edi; j++)
105. { int k=0;
106. for(int prirost=1;prirost<edi;prirost++){
107. { for(int prirost1=0;prirost1<edi;prirost1++){
108. Mas_R[k]=GetRValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j+prirost1]);

```

```

109. Mas_G[k]=GetGValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j+prirost1]);
110. Mas_B[k]=GetBValue(Bitmap->Canvas->Pixels[i+prirost][j+prirost1]);
111. k++; } }
112. bool peres=false;
113. do {peres=false;
114. for(int p=0; p<size-1;p++)
115. {if(Mas_R[p]>Mas_R[p+1])
116. {int h=Mas_R[p]; Mas_R[p]=Mas_R[p+1];Mas_R[p+1]=h;
117. peres=true; } } } while (peres==true);
118. bool peres1=false;
119. do {peres1=false;
120. for(int p=0; p<size-1;p++)
121. {if(Mas_G[p]>Mas_G[p+1])
122. {int h=Mas_G[p]; Mas_G[p]=Mas_G[p+1];Mas_G[p+1]=h;
123. peres1=true; } } } while (peres1==true);
124. bool peres2=false;
125. do {peres2=false;
126. for(int p=0; p<size-1;p++)
127. {if(Mas_B[p]>Mas_B[p+1])
128. {int h=Mas_B[p]; Mas_B[p]=Mas_B[p+1];Mas_B[p+1]=h;
129. peres2=true; } } } while (peres2==true);
130. r=(Mas_R[mm]+Mas_R[size-mm])/2; g=(Mas_G[mm]+Mas_G[size-mm])/2;
131. b=(Mas_B[mm]+Mas_B[size-mm])/2;
132. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(r,g,b)); }
133. ImageEnView1->IEBitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap1->Width,
Bitmap1->Height),
134. Bitmap1->Canvas,
135. Rect(0,0,Bitmap1->Width,Bitmap1->Height));
136. ImageEnView1->Repaint();
137. delete[] Mas_R; delete[] Mas_G; delete[] Mas_B;
138. FormG->ProgressBar5->Visible=false; }

```

Фільтр типу α – зрізане середнє є ефективним інструментом для видалення імпульсних шумів.

Всі фільтри, що були приведені вище, є універсальними і не враховують особливостей зйомки і інтенсивності відображення на зображенні. Проте дешифрувальними ознаками різних забруднень (підвищені або знижені) є спектральні - характеристики яскравості в одному або декількох спектральних піддіапазонах. При такому тематичному дешифруванні в околиці точки доцільно застосовувати низькочастотні фільтри «Мінімум» або «Максимум», які відрізняються простотою і отже невеликими часовими витратами. Результати такої обробки залежать від розмірів локальної апертури.

5.2.1.6 Блок високочастотних контурунаводячих фільтрів

При рішенні задачі сегментації необхідно здійснити виділення і локалізації країв. Краї — це криві лінії на зображенні, уздовж яких є різка зміна яскравості, або зміна значень її похідних по просторових змінних. Такі зміни яскравості є найцікавішими. Вони відображають важливі особливості

поверхні, що зображується. В результаті відносяться місця, де орієнтація поверхні міняється стрибкоподібно, або один об'єкт загороджує інший, або лягає межа відкинутої тіні, або відсутня безперервність у відбивних властивостях поверхні і т.п. У будь-якому випадку потрібно локалізувати місця розривів яскравості або її похідних, щоб дізнатися щось про властивості об'єкту, який зображений на знімку. Після використання низькочастотних шумоподавляючих фільтрів відбувається розмиття зображення, що обмежує можливість виділити інформацію про краї.

Інтуїтивно краєм звичайно є межа між двома областями, кожна з яких має приблизно рівномірну яскравість. Часто краї на зображеннях виникають як результат наявності силуетних ліній об'єктів. В цьому випадку дві згадані області є зображеннями двох різних поверхонь. Краї також виникають через відсутність безперервності в орієнтації поверхні і розривів в її відбивних властивостях [37]. Для вирішення завдання наведення контурів використовуються високочастотні фільтри. Після проведення аналізу найбільш відомих високочастотних фільтрів, було вирішено використовувати нелінійні диференціальні фільтри Собела, Уолліса, Кірша, Робертса і Розенфельда (рис.5.28).

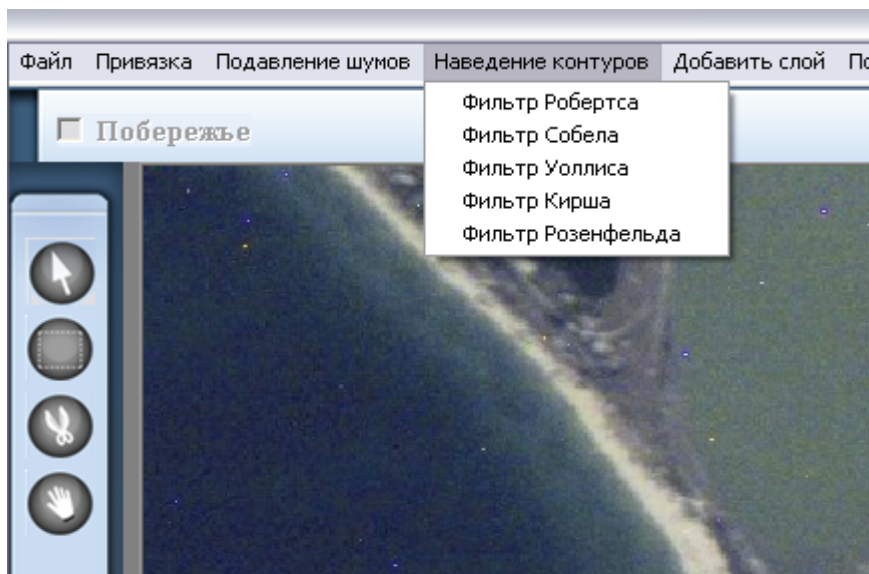


Рис.5.28 - Використовувані нелінійні високочастотні диференціальні фільтри

У нелінійних системах виявлення перепадів для контрастування перед пороговим обмеженням використовуються нелінійні комбінації значень яскравості елементів зображення. У більшості методів обмежуються обробкою вікном розміром 2X2 або 3X3.

5.2.1.7. Фільтр Робертса

Робертс запропонував для контрастування і виділення перепадів наступну просту нелінійну операцію двовимірного дискретного диференціювання:

$$GR(j, \partial o) = ([F(j, \partial o) - F(j+1, k+1)]^2 + [F(j, \partial o + 1) - F(j+1, \partial o)]^2)^{1/2}.$$

Інша операція просторового диференціювання, що вимагає меншого об'єму обчислень, визначається формулою

$$G_A(j, k) = |F(j, k) - F(j+1, k+1)| + |F(j, k+1) - F(j+1, k)|$$

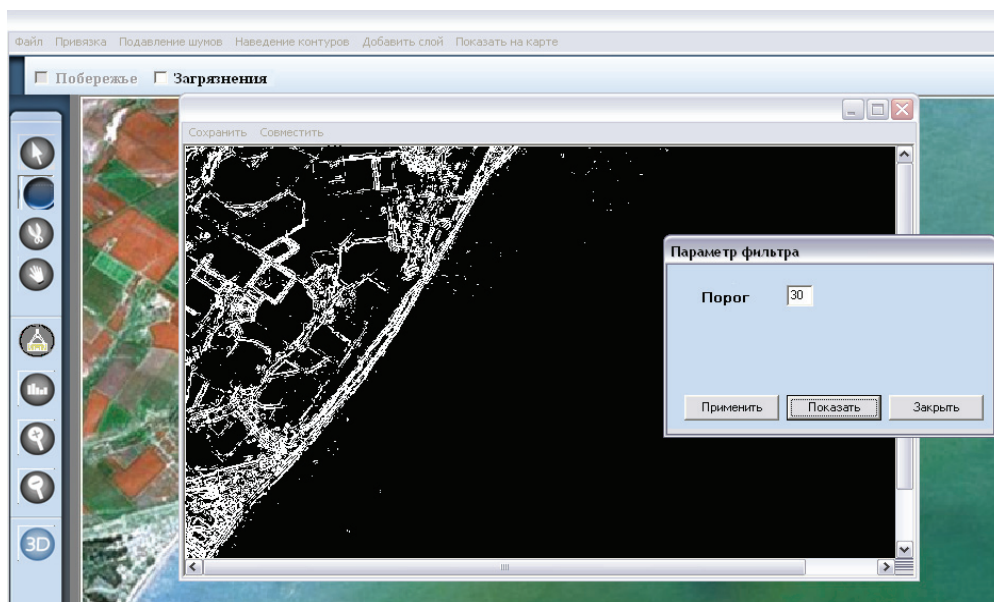
Можна легко показати, що

$$G_R(j, k) \leq G_A(j, k) \leq \sqrt{2} G_R(j, k)$$

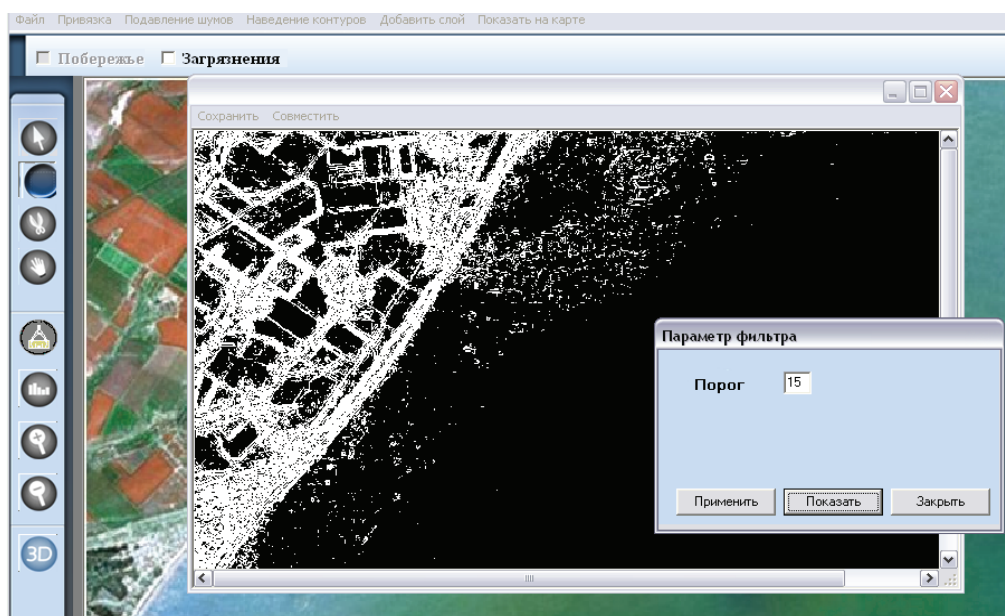
Відзначаючи той з чотирьох елементів зображення, що розташований біля виявленої комірки, яка має найбільше значення яскравості, можна одержати інформацію про приблизну орієнтацію перепаду. Лістинг фрагменту програми що реалізовує високочастотну фільтрацію Робертса

```
void TFormR::Roberts(int x1, int y1, int x2, int y2, float porog)
1. {double G r1,g1,b1,r2,g2,b2,r3,g3,b3,r4,g4,b4; int Pr, Pg, Pb;
2. Bitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height)
   Form_Osn->Im_Photo->IEBitmap->Canvas,
   Rect(x1,y1,x2,y2)) ;
3. Bitmap1->Canvas->Brush->Color=TColor(RGB(0,0,0));
4. Bitmap1->Canvas->FillRect(Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height));
5. FormG->ProgressBar6->Visible=true; FormG->ProgressBar6->Max=Bitmap->Height;
6. for(int j=0;j<Bitmap->Height;j++){
7. FormG->ProgressBar6->Position=j; FormG->ProgressBar6->Repaint();
8. for(int i=0;i<Bitmap->Width;i++){
9. TColor col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j];
10. r1=GetRValue(col); g1=GetGValue(col); b1=GetBValue(col);
11. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i+1][j+1];
12. r2=GetRValue(col); g2=GetGValue(col); b2=GetBValue(col);
13. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+1];
14. r3=GetRValue(col); g3=GetGValue(col); b3=GetBValue(col);
15. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i+1][j];
16. r4=GetRValue(col); g4=GetGValue(col); b4=GetBValue(col);
17. Pr=G=sqrt((r1-r2)*(r1-r2)+(r3-r4)*(r3-r4));
18. if (G>porog) Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=clWhite;
19. Pg=G=sqrt((g1-g2)*(g1-g2)+(g3-g4)*(g3-g4));
20. if (G>porog) Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=clWhite;
21. Pb=G=sqrt((b1-b2)*(b1-b2)+(b3-b4)*(b3-b4));
22. if (G>porog) Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=clWhite;
23. Bitmap2->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(Pr,Pg,Pb));}
24. FormR->ImageEnView1->IEBitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->
   Width,Bitmap->Height) Bitmap1->Canvas, Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height));
25. FormR->Show(); FormG->ProgressBar6->Visible=false; }
```

На рис.5.29 представлений результат використання нелінійного високочастотного фільтру Робертса для різних порогових значень.



a)



б)

Рис.5.29 - Результат використання нелінійного високочастотного фільтру Роберта для різних порогових значень. *a* - поріг рівний 30, *б* - 15.

5.2.1.8. Фільтр Собела

A_0	A_1	A_2
A_7	$F(j,k)$	A_3
A_6	A_5	A_4

Собел запропонував використовувати для контрастування нелінійний оператор з вікном з 3X3 елементів.

Для контрастування перепадів обчислюється величина

$$G(j,k) = \sqrt{X^2 + Y^2},$$

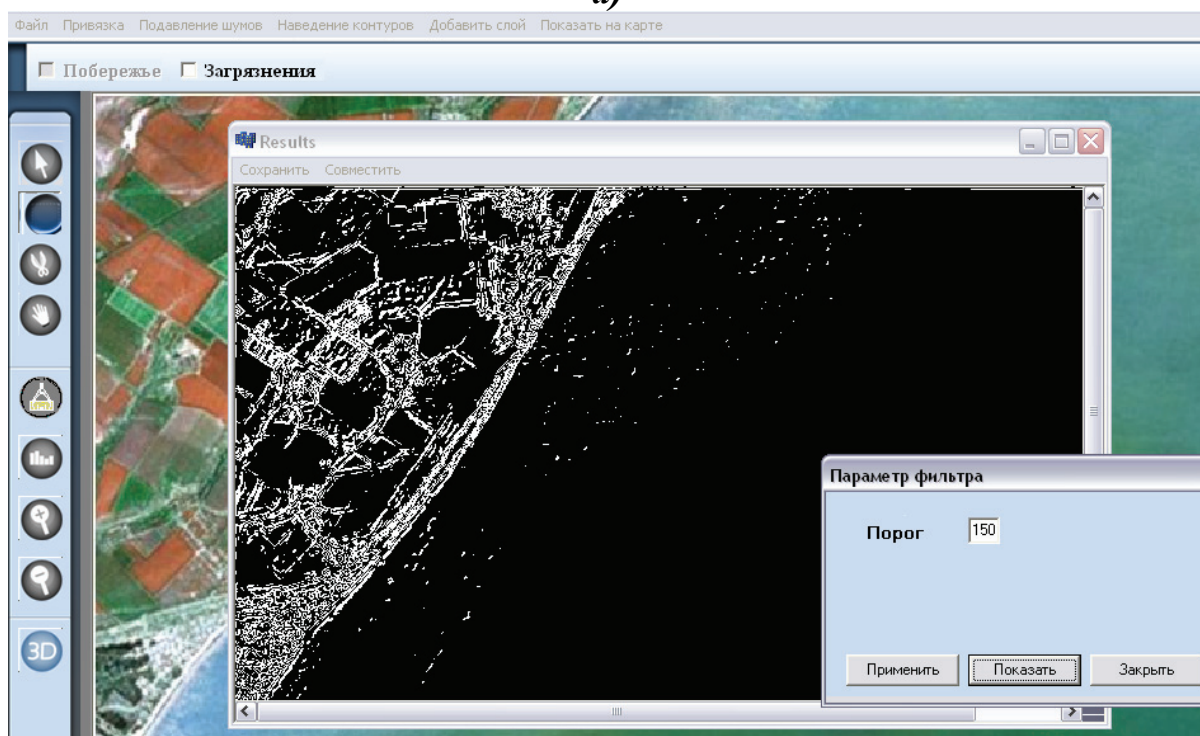
де $X = (A_2 + 2A_3 + A_4) - (A_0 + 2A_7 + A_6)$, $Y = (A_0 + 2A_1 + A_2) - (A_6 + 2A_5 + A_4)$.

Величини A_i – це яскравості елементів вікна. Лістинг фрагменту програми, що є реалізацією високочастотної фільтрації Собела

```
void TFormR::Sobel(int x1, int y1, int x2, int y2, float porog)
{ TColor col; int *masR1, *masR2, *masG1, *masG2, *masB1, *masB2, *masR3, *masG3,
*masB3;
1. Bitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height)
    Form_Osn->Im_Photo->IEBitmap->Canvas,
    Rect(x1,y1,x2,y2)) ;
2. masR1=new int[Bitmap->Width]; masR2=new int[Bitmap->Width];
3. masR3=new int[Bitmap->Width]; masG1=new int[Bitmap->Width];
4. masG2=new int[Bitmap->Width]; masG3=new int[Bitmap->Width];
5. masB1=new int[Bitmap->Width]; masB2=new int[Bitmap->Width];
6. masB3=new int[Bitmap->Width];
7. FormG->ProgressBar6->Visible=true; FormG->ProgressBar6->Max=Bitmap->Height;
8. Bitmap1->Canvas->Brush->Color = TColor(RGB(0,0,0));
9. Bitmap1->Canvas->FillRect(Rect(0,0,Bitmap->Width Bitmap->Height));
10. for(int j=0; j<Bitmap->Height; j++){
11. FormG->ProgressBar6->Position=j; FormG->ProgressBar6->Repaint();
12. if(j==0){
13. for(int i=0; i<Bitmap->Width; i++){
14. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j];;
15. masR1[i]=GetRValue(col); masG1[i]=GetGValue(col); masB1[i]=GetBValue(col);
16. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+1];
17. masR2[i]=GetRValue(col); masG2[i]=GetGValue(col); masB2[i]=GetBValue(col);
18. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+2];
19. masR2[i]=GetRValue(col); masG2[i]=GetGValue(col); masB2[i]=GetBValue(col);
20. } }
21. if(j!=0){
22. for(int i=0; i<Bitmap->Width; i++){
23. masR1[i]=masR2[i]; masG1[i]=masG2[i]; masB1[i]=masB2[i];
24. masR2[i]=masR3[i]; masG2[i]=masG3[i]; masB2[i]=masB3[i];
25. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+2];
26. masR3[i]=GetRValue(col); masG3[i]=GetGValue(col); masB3[i]=GetBValue(col);}
27. for(int i=0; i<Bitmap->Width; i++){
28. double A0=masR1[i]; double A1=masR1[i+1]; double A2=masR1[i+2];
29. double A7=masR2[i]; double A3=masR2[i+2];
30. double A6=masR3[i]; double A5=masR3[i+1]; double A4=masR3[i+2];
31. double X=(A2+2.*A3+A4)-(A0+2.*A7+A6);
32. double Y=(A0+2.*A1+A2)-(A6+2.*A5+A4);
33. int varR=sqrt(X*X+Y*Y);
34. A0=masG1[i]; A1=masG1[i+1]; A2=masG1[i+2];
35. A7=masG2[i]; A3=masG2[i+2];
36. A6=masG3[i]; A5=masG3[i+1]; A4=masR3[i+2];
37. X=(A2+2.*A3+A4)-(A0+2.*A7+A6);
38. Y=(A0+2.*A1+A2)-(A6+2.*A5+A4);
39. int varG=sqrt(X*X+Y*Y);
40. A0=masB1[i]; A1=masB1[i+1]; A2=masB1[i+2];
41. A7=masB2[i]; A3=masB2[i+2];
42. A6=masB3[i]; A5=masB3[i+1]; A4=masB3[i+2];
43. X=(A2+2.*A3+A4)-(A0+2.*A7+A6);
44. Y=(A0+2.*A1+A2)-(A6+2.*A5+A4);
```



а)



б)

Рис.5.30 - Результат використання нелінійного високочастотного фільтру Собела для різних порогових значень. **а** – поріг, що дорівнює 100, **б** - 150.

```

45. int varB=sqrt(X*X+Y*Y);
46. Bitmap2->Canvas->Pixels[i][j]=TColor( RGB(varR,varG,varB));
47. if(varR>=porog || varG>=porog || varB>=porog)
48. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=TColor( RGB(255,255,255)); }

```

```

49. FormR->ImageEnView1->IEBitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap-
    >Width,Bitmap->Height)
    i. Bitmap1->Canvas,
    ii. Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height));
50. FormR->ImageEnView1->Repaint(); FormR->Show();
51. FormG->ProgressBar6->Visible=false;
52. delete []masR1; delete []masR2; delete []masR3;
53. delete []masG1; delete []masG2; delete []masG3;
54. delete []masB1; delete []masB2; delete []masB3; }

```

На рис.5.30 подано результат використання нелінійного високочастотного фільтру Собела для різних порогових значень.

5.2.1.9 Фільтр Кірша

Фільтр, що був запропонований Киршем для контрастування перепадів яскравості також використовує вікно з 3X3 елементів.

Цей оператор визначається наступним виразом:

$$G(j, k) = \max \left\{ \max_{i=0,7} [5S_i - 3T_i] \right\}$$

де $S_i = A_i + A_{i+1} + A_{i+2}$, $T_i = A_{i+3} + A_{i+4} + A_{i+5} + A_{i+6} + A_{i+7}$.

Індекси доданків A_i підраховуються по модулю 8.

Оператор Кірша дає максимальне значення курсового градієнта в деякій точці зображення. Лістинг фрагменту програми, що реалізовує високочастотну фільтрацію Кірша

```

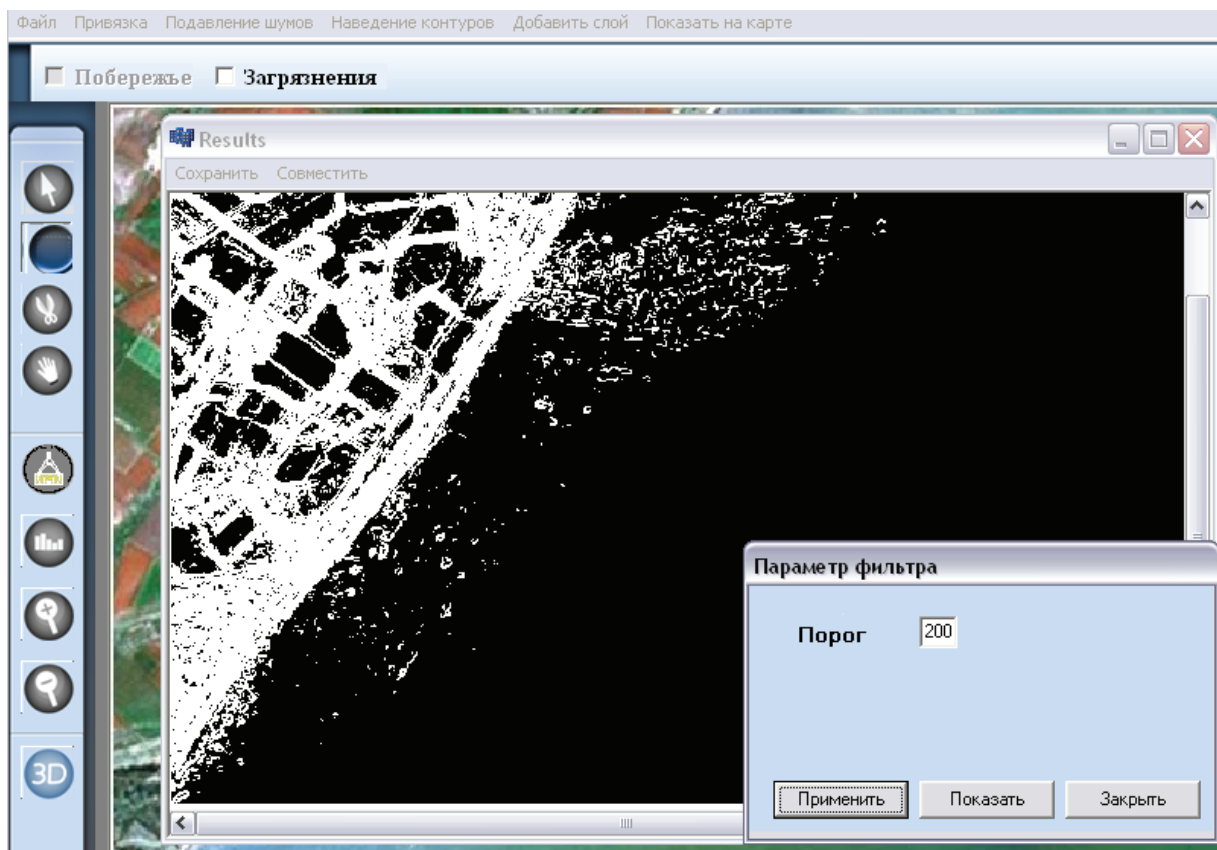
void TFormR::Kirsh(int x1, int y1, int x2, int y2, float porog)
1. { TColor col; int A[16];
2. int *masR1, *masR2, *masG1, *masG2, *masB1, *masB2,*masR3, *masG3, *masB3;
3. Bitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height)
    Form_Osn->Im_Photo->IEBitmap->Canvas,
    Rect(x1,y1,x2,y2)) ;
4. masR1=new int[Bitmap->Width]; masR2=new int[Bitmap->Width];
5. masR3=new int[Bitmap->Width]; masG1=new int[Bitmap->Width];
6. masG2=new int[Bitmap->Width]; masG3=new int[Bitmap->Width];
7. masB1=new int[Bitmap->Width]; masB2=new int[Bitmap->Width];
8. masB3=new int[Bitmap->Width];
9. FormG->ProgressBar6->Visible=true; FormG->ProgressBar6->Max=Bitmap->Height;
10. Bitmap1->Canvas->Brush->Color = TColor(RGB(0,0,0));
11. Bitmap1->Canvas->FillRect(Rect(0,0,Bitmap->Width Bitmap->Height));
12. for(int j=0; j<Bitmap->Height; j++){
13. FormG->ProgressBar6->Position=j; FormG->ProgressBar6->Repaint();
14. if(j==0){
15. for(int i=0; i<Bitmap->Width; i++){
16. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j];;
17. masR1[i]=GetRValue(col); masG1[i]=GetGValue(col); masB1[i]=GetBValue(col);
18. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+1];

```

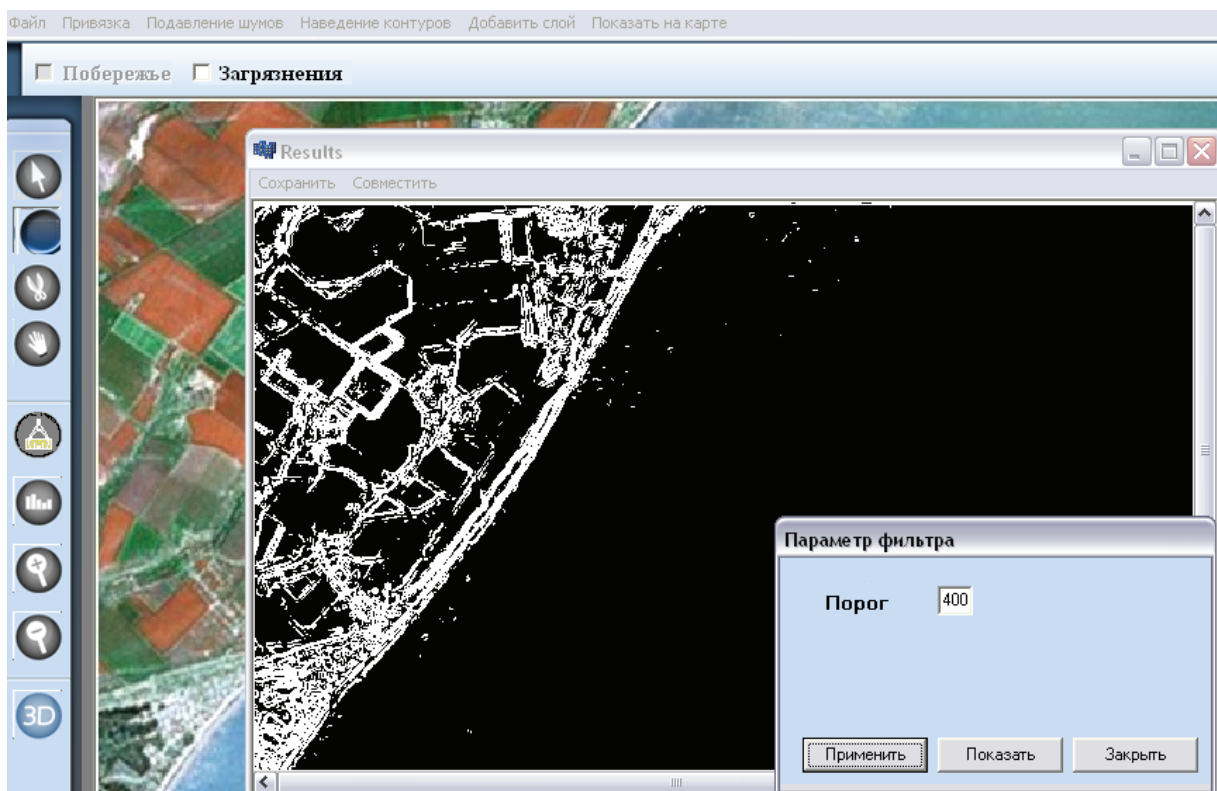
```

19. masR2[i]=GetRValue(col); masG2[i]=GetGValue(col); masB2[i]=GetBValue(col);
20. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+2];
21. masR2[i]=GetRValue(col); masG2[i]=GetGValue(col); masB2[i]=GetBValue(col); } }
22. if(j!=0){
23. for(int i=0; i<Bitmap->Width; i++){
24. masR1[i]=masR2[i]; masG1[i]=masG2[i]; masB1[i]=masB2[i];
25. masR2[i]=masR3[i]; masG2[i]=masG3[i]; masB2[i]=masB3[i];
26. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+2];
27. masR3[i]=GetRValue(col); masG3[i]=GetGValue(col); masB3[i]=GetBValue(col); } }
28. for(int i=0; i<Bitmap->Width; i++){
29. A[0]=masR1[i]; A[1]=masR1[i+1]; A[2]=masR1[i+2];
30. A[3]=masR2[i+2]; A[4]=masR3[i+2]; A[5]=masR3[i+1];
31. A[6]=masR3[i]; A[7]=masR2[i]; A[8]=A[0];
32. A[9]=A[1]; A[10]=A[2]; A[11]=A[3]; A[12]=A[4]; A[13]=A[5];
33. A[14]=A[6]; A[15]=A[7];
34. int varR=1,varG=1,varB=1, S, T, vv;
35. for(int i1=0; i1<8; i1++){
36. S=A[i1]+A[i1+1]+A[i1+2];
37. T=A[i1+3]+A[i1+4]+A[i1+5]+A[i1+6]+A[i1+7];
38. vv=abs(5*S-3*T); if(varR<vv)varR=vv; }
39. A[0]=masG1[i]; A[1]=masG1[i+1]; A[2]=masG1[i+2];
40. A[3]=masG2[i+2]; A[4]=masG3[i+2]; A[5]=masG3[i+1];
41. A[6]=masG3[i]; A[7]=masG2[i]; A[8]=A[0];
42. A[9]=A[1]; A[10]=A[2]; A[11]=A[3]; A[12]=A[4]; A[13]=A[5];
43. A[14]=A[6]; A[15]=A[7];
44. for(int i1=0; i1<8; i1++){
45. S=A[i1]+A[i1+1]+A[i1+2];
46. T=A[i1+3]+A[i1+4]+A[i1+5]+A[i1+6]+A[i1+7];
47. vv=abs(5*S-3*T); if(varG<vv)varG=vv; }
48. A[0]=masB1[i]; A[1]=masB1[i+1]; A[2]=masB1[i+2];
49. A[3]=masB2[i+2]; A[4]=masB3[i+2]; A[5]=masB3[i+1];
50. A[6]=masB3[i]; A[7]=masB2[i]; A[8]=A[0];
51. A[9]=A[1]; A[10]=A[2]; A[11]=A[3]; A[12]=A[4]; A[13]=A[5];
52. A[14]=A[6]; A[15]=A[7];
53. for(int i1=0; i1<8; i1++){
54. S=A[i1]+A[i1+1]+A[i1+2];
55. T=A[i1+3]+A[i1+4]+A[i1+5]+A[i1+6]+A[i1+7];
56. vv=abs(5*S-3*T); if(varB<vv)varB=vv; }
57. Bitmap2->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(varR,varG,varB));
58. if(varR>=porog || varG>=porog || varB>=porog)
59. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(255,255,255)); } }
60. FormR->ImageEnView1->IEBitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->
    Width,Bitmap->Height) Bitmap1->Canvas, Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height));
61. FormR->ImageEnView1->Repaint(); FormR->Show();
62. FormG->ProgressBar6->Visible=false;
63. delete []masR1; delete []masR2; delete []masR3;
64. delete []masG1; delete []masG2; delete []masG3;
65. delete []masB1; delete []masB2; delete []masB3; }

```

а)



б)

Рис.5.31 - Результат використання нелінійного високочастотного фільтру Кірша для різних порогових значень. а - поріг рівний 200, б - 400.

5.2.1.10 Фільтр Уолліса

Нелінійний метод виявлення перепадів Уолліса, є заснованим на гомоморфній обробці зображення. Згідно цьому методу, точка, яка знаходиться на перепаді і якщо величина логарифма від яскравості в цій точці перевершує середнє значення логарифмів яскравостей чотирьох найближчих сусідніх елементів на деяке фіксоване значення. Елемент зображення, яке є контрастованим визначається як

$$G(j,k) = \log[F(j,k)] - \frac{1}{4}\log(A_1) - \frac{1}{4}\log(A_3) - \frac{1}{4}\log(A_5) - \frac{1}{4}\log(A_7)$$

або, що еквівалентно

$$G(j,k) = \frac{1}{4} \log \left\{ \frac{[F(j,k)]^4}{A_1 A_3 A_5 A_7} \right\}$$

Порівняння $G(j,k)$ з верхнім і нижнім пороговими значеннями є еквівалентним порівнянню дробу в дужках виразу з видозміненим порогом. Тому не потрібно точно обчислювати значення логарифмів. Основна перевага логарифмічного детектора перепадів окрім простоти обчислень полягає в тому, що він не є чутливим до мультиплікативних змін рівня яскравості.

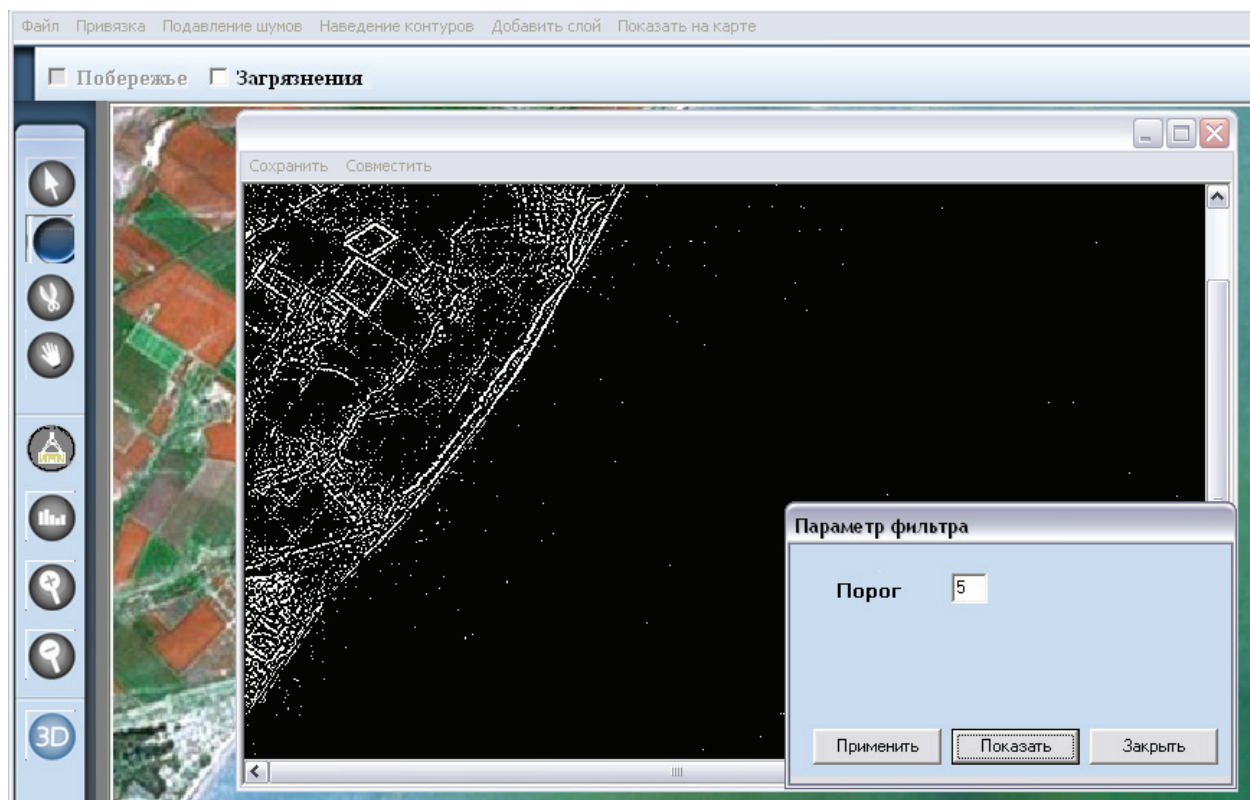
Логарифмічний метод контрастування, що визначений представленим виразом, можна розглядати як лінійне контрастування за допомогою оператора Лапласа зображення, рівні елементів якого дорівнюють логарифмам яскравостей. Лістинг фрагменту програми, що реалізовує високочастотну фільтрацію Уолліса такий:

```
void TFormR::Uolis(int x1, int y1, int x2, int y2, float porog)
1. { TColor col;
2. int *masR1, *masR2, *masG1, *masG2, *masB1, *masB2, *masR3, *masG3, *masB3;
3. Bitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height)
   Form_Osn->Im_Photo->IEBitmap->Canvas, Rect(x1,y1,x2,y2)) ;
4. masR1=new int[Bitmap->Width]; masR2=new int[Bitmap->Width];
5. masR3=new int[Bitmap->Width]; masG1=new int[Bitmap->Width];
6. masG2=new int[Bitmap->Width]; masG3=new int[Bitmap->Width];
7. masB1=new int[Bitmap->Width]; masB2=new int[Bitmap->Width];
8. masB3=new int[Bitmap->Width];
9. FormG->ProgressBar6->Visible=true; FormG->ProgressBar6->Max=Bitmap->Height;
10. Bitmap1->Canvas->Brush->Color = TColor(RGB(0,0,0));
11. Bitmap1->Canvas->FillRect(Rect(0,0,Bitmap->Width Bitmap->Height));
12. for(int j=0; j<Bitmap->Height; j++){
13. FormG->ProgressBar6->Position=j; FormG->ProgressBar6->Repaint();
14. if(j==0){
15. for(int i=0; i<Bitmap->Width; i++){
```

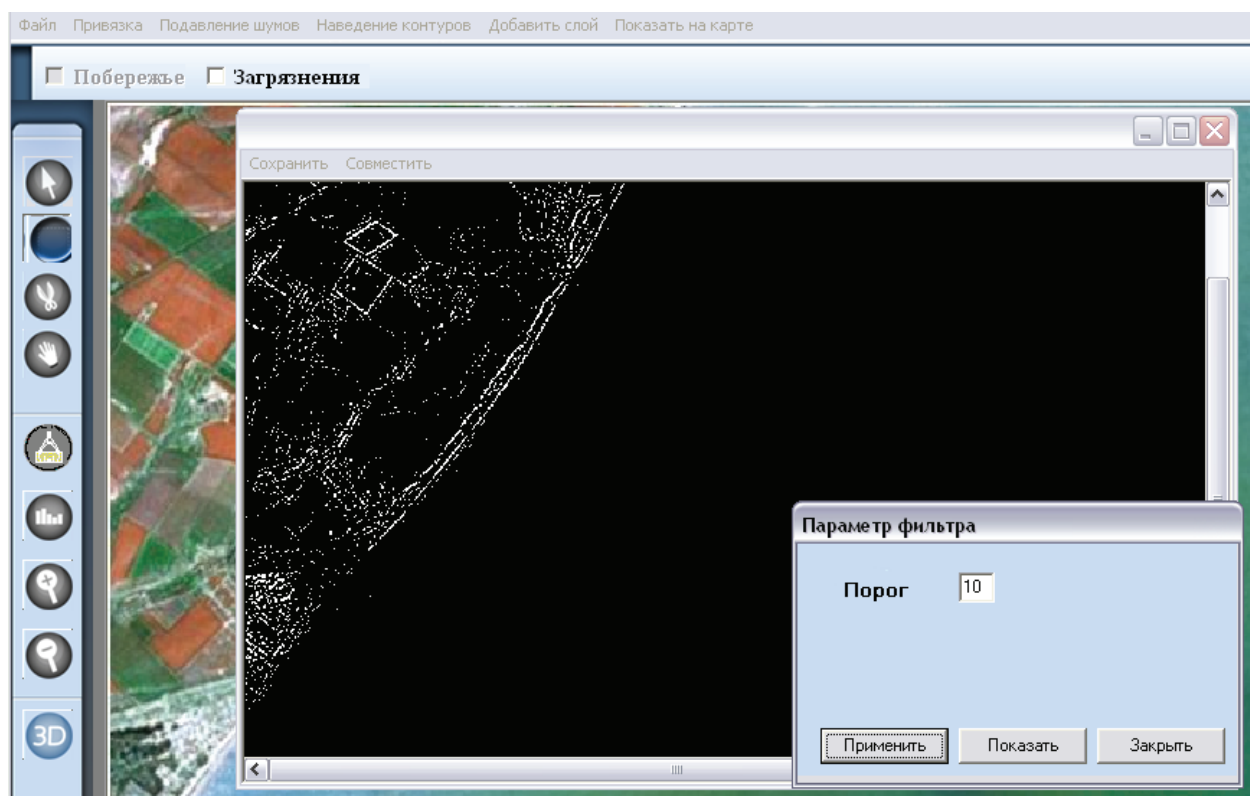
```

16. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j];
17. masR1[i]=GetRValue(col); masG1[i]=GetGValue(col); masB1[i]=GetBValue(col);
18. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+1];
19. masR2[i]=GetRValue(col); masG2[i]=GetGValue(col); masB2[i]=GetBValue(col);
20. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+2];
21. masR2[i]=GetRValue(col); masG2[i]=GetGValue(col); masB2[i]=GetBValue(col); }
22. if(j!=0){
23. for(int i=0; i<Bitmap->Width; i++){
24. masR1[i]=masR2[i]; masG1[i]=masG2[i]; masB1[i]=masB2[i];
25. masR2[i]=masR3[i]; masG2[i]=masG3[i]; masB2[i]=masB3[i];
26. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i][j+2];
27. masR3[i]=GetRValue(col); masG3[i]=GetGValue(col); masB3[i]=GetBValue(col); } }
28. for(int i=0; i<Bitmap->Width; i++){
29. double A0=masR1[i]; double A1=masR1[i+1]; double A2=masR1[i+2];
30. double A7=masR2[i]; double F=masR2[i+1]; double A3=masR2[i+2];
31. double A6=masR3[i]; double A5=masR3[i+1]; double A4=masR3[i+2];
32. double varR,varG,varB;
33. if(A1*A3*A5*A7!=0&& F!=0)varR=log((F*F*F*F)/(A1*A3*A5*A7))/4;
34. else varR=0;
35. if(varR<0)varR=0; varR*=100;
36. A0=masG1[i]; A1=masG1[i+1]; A2=masG1[i+2];
37. A7=masG2[i]; F=masG2[i+1]; A3=masG2[i+2];
38. A6=masG3[i]; A5=masG3[i+1]; A4=masR3[i+2];
39. if(A1*A3*A5*A7!=0&& F!=0)varG=log((F*F*F*F)/(A1*A3*A5*A7))/4;
40. else varG=0;
41. if(varG<0)varG=0;
42. varG*=100;
43. A0=masB1[i]; A1=masB1[i+1]; A2=masB1[i+2];
44. A7=masB2[i]; F=masB2[i+1]; A3=masB2[i+2];
45. A6=masB3[i]; A5=masB3[i+1]; A4=masB3[i+2];
46. if(A1*A3*A5*A7!=0 && F!=0)varB=log((F*F*F*F)/(A1*A3*A5*A7))/4;
47. else varB=0;
48. if(varB<0)varB=0;
49. varB*=100;
50. Bitmap2->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(varR,varG,varB));
51. if(varR>=porog || varG>=porog || varB>=porog)
52. Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(255,255,255)); }
53. FormR->ImageEnView1->IEBitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->
    Width,Bitmap->Height) Bitmap1->Canvas, Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height));
54. FormR->ImageEnView1->Repaint(); FormR->Show();
55. FormG->ProgressBar6->Visible=false;
56. delete []masR1; delete []masR2; delete []masR3;
57. delete []masG1; delete []masG2; delete []masG3;
58. delete []masB1; delete []masB2; delete []masB3; }

```



а)



б)

Рис.5.32 - Результат використання нелінійного високочастотного фільтру Уолліса для різних порогових значень: а - поріг рівний 5, б- 10.

5.2.1.11 Фільтр Розенфельда

Нелінійний метод підвищення контрасту і виділення перепадів Розенфельда є заснованим на обчисленні набору деяких величин.

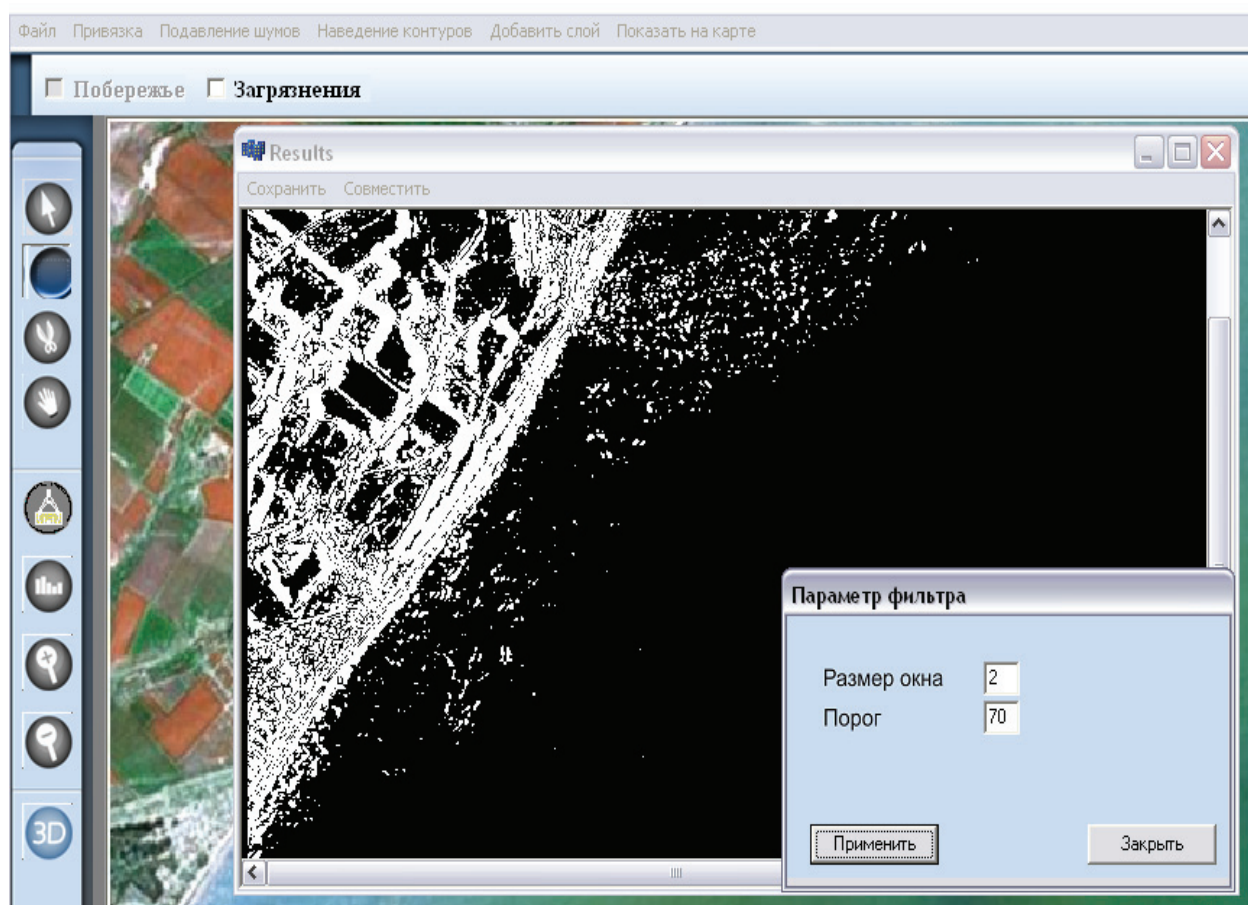
У цьому методі використовується оператор одновимірного усереднювання. Поточне середнє

$$D_M(j,k) = \frac{1}{M} \left[F(j+M-1,k) + F(j+M-2,k) + \dots + F(j,k) - \right. \\ \left. F(j-1,k) - F(j-2,k) - \dots - F(j-M,k) \right]$$

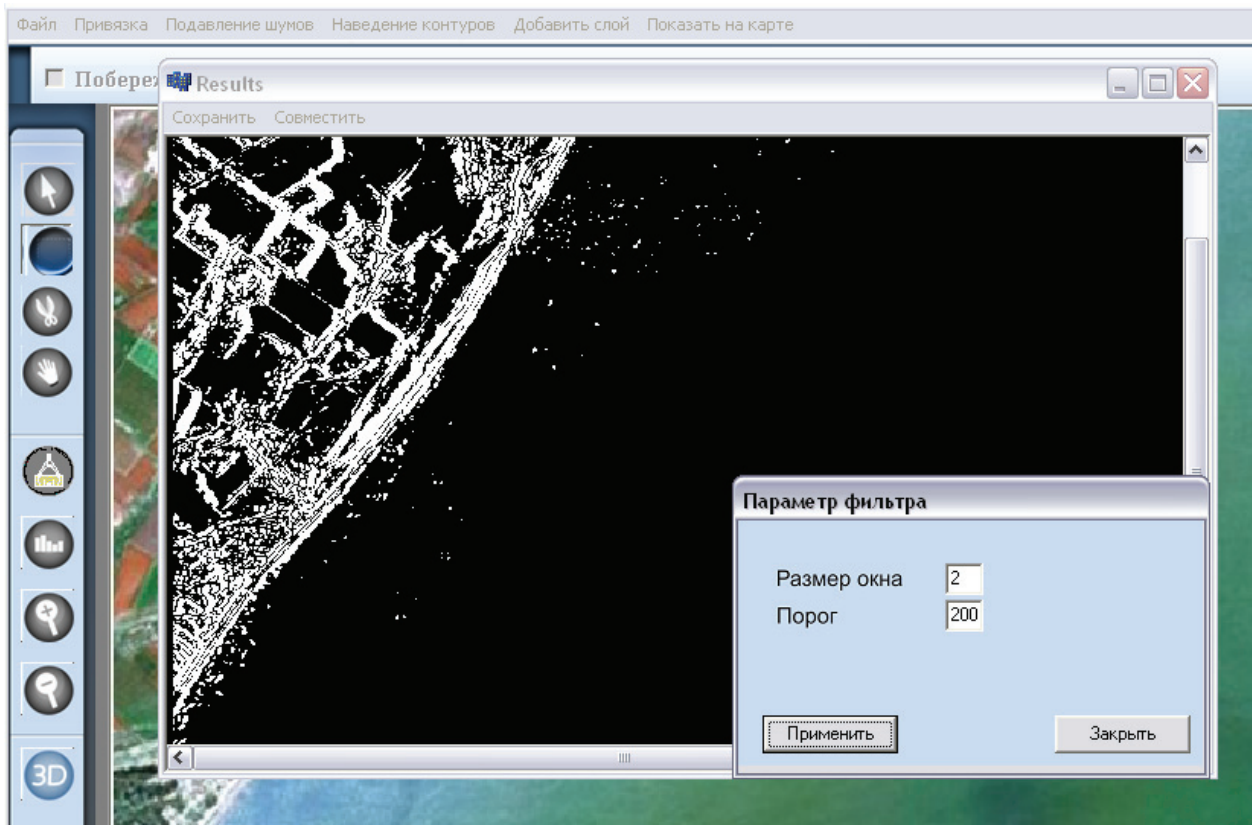
де $M=2m$ і m - ціле, обчислюється для кожного елементу зображення. Ця операція виконується для $M = 1, 2, 4, 8, 16, \dots$ аж до деякої бажаної верхньої межі. Потім для кожного елементу зображення обчислюється

$$P_M(j,k) = D_1(j,k) D_2(j,k) \dots D_M(j,k).$$

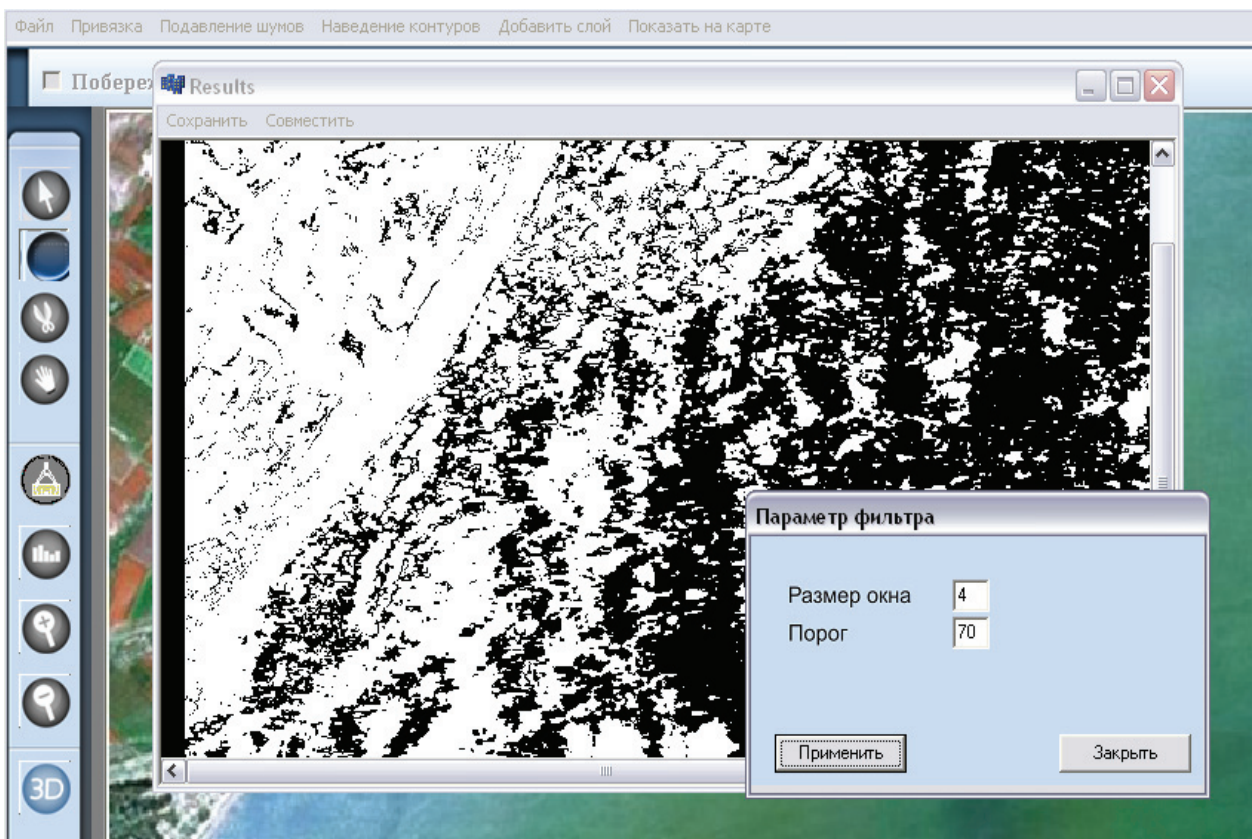
Співмножники, що є відповідними усереднюванню вищого порядку, указують досить широкі межі локалізації перепаду і проводять деяке придушення шумів, тоді як співмножники усереднювання нижчого порядку локалізують перепад точніше. Але при цьому, маски є значно чутливішими до шуму. Разом з тим можна припустити, що середні різного порядку повинні забезпечувати надійне виявлення і локалізацію дійсних перепадів. Обґрунтування цього припущення, що приводиться Розенфельдом, полягає в наступному.



a)



б)



в)

Рис.5.33 - Результат використання нелінійного високочастотного фільтру Розенфельда для різних значень порогу і вікна сканування.

Величина $PM(j,k)$ проявляє тенденцію виявляти і точно локалізувати основні перепади і при цьому пригнічувати шум. Це можна пояснити тим, що перепад є великим лише тоді, коли всі співмножники є великими, а у міру видалення від точки перепаду спочатку зменшуються співмножники з малими індексами, а потім і з великими. Лістинг фрагменту програми що реалізовує високочастотну фільтрацію Розенфельда:

```
void TFormR::Rozenfield(int x1, int y1, int x2, int y2, float m, float t)
1. { int p,m2; FormG->ProgressBar2->Visible=true;
2. p=m; m2=1; m2=1<<p;
3. if(x1>x2) { p=x1; x1=x2; x2=p; }
4. if(y1>y2) { p=y1; y1=y2; y2=p; }
5. Bitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height)
   Form_Osn->Im_Photo->IEBitmap->Canvas, Rect(x1,y1,x2,y2));
   Bitmap1->Canvas->Brush->Color=TColor(RGB(0,0,0));
6. Bitmap1->Canvas->FillRect(Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height));
7. float Dr,Pr,Dg,Db,Pg,Pb; TColor col; int st,g,r,b;
8. FormG->ProgressBar2->Min=0; FormG->ProgressBar2->Max=Bitmap->Height;
9. for(int j=0;j<Bitmap->Height;j++){
10. FormG->ProgressBar2->Position=j; FormG->ProgressBar2->Repaint();
11. for(int i=m2;i<Bitmap->Width-m2;i++){
12. Pr=1; Pg=1; Pb=1;
13. for(int ii=0;ii<m;ii++){
14. Dr=0; Db=0; Dg=0; st=1;
15. for(int jj=0;jj<=ii;jj++){
16. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i-st][jj];
17. r=GetRValue(col); g=GetGValue(col); b=GetBValue(col);
18. Dr-=r; Db-=b; Dg-=g;
19. col=Bitmap->Canvas->Pixels[i+m2-st][jj];
20. r=GetRValue(col); g=GetGValue(col); b=GetBValue(col);
21. Dr+=r; Db+=b; Dg+=g; st*=2; }
22. Dr/=st; Dg/=st; Db/=st; Pr*=Dr; Pg*=Dg; Pb*=Db; }
23. Bitmap2->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(Pr,Pg,Pb));
24. if (Pr>=t||Pg>=t||Pb>=t) Bitmap1->Canvas->Pixels[i][j]=clWhite; } }
25. FormR->ImageEnView1->IEBitmap->Canvas->CopyRect(Rect(0,0,Bitmap->
   Width,Bitmap->Height) Bitmap1->Canvas, Rect(0,0,Bitmap->Width,Bitmap->Height));
26. FormR->ImageEnView1->Repaint(); FormG->ProgressBar2->Visible=false; }
```

5.2.2 Блок контрастування

Як видно з рис.5.29 застосування високочастотних фільтрів дає стійке підкреслення береговій лінії, але не знаходить неоднородностей на морській поверхні.

Для вирішення цього завдання, а так само підвищення контрастності зображення був введений блок контрастування, що заснований на коректуванні розподілу гістограми, яскравості.

Його робота заснована на законі контрастного сприйняття, згідно якого відмінності, що є помітним в яскравостях, залежать не від абсолютної величини цих відмінностей, а від їх відносної величини.

На підставі проведених дослідів Бугер запропонував вираз диференціального порогу (порогового контрасту)

$$\psi = \Delta I / I , \tag{5.31}$$

яке визначає величину порогу розрізнення через відношення різницевого порогу до початкової яскравості *I*.

Реакція ока на зміну освітлення є нелінійною. Хай пляма світла, що має інтенсивність *I*+ ΔI , оточено фоном інтенсивності *I* (рис.5.34 *a*). Потрібно знайти залежність від *I* мінімального приросту ΔI . Встановлено, що в широкому діапазоні відношення $\Delta I / I$, зване відношенням Вебера, має майже однакову величину — біля 0,02.

Як видно з рис.5.40 *a* , цей результат не має місця для дуже малих або дуже великих інтенсивностей. Для яскравостей, які знаходяться на краях діапазону, поріг буде значно більше. Оскільки диференціал логарифма інтенсивності рівний

$$d \{ \log (I) \} = dI / I,$$

то однакові зміни логарифма інтенсивності світла можна пов'язати з однаковими ледве помітними змінами інтенсивності в діапазоні, в якому відношення $\Delta I / I$ залишається постійним.

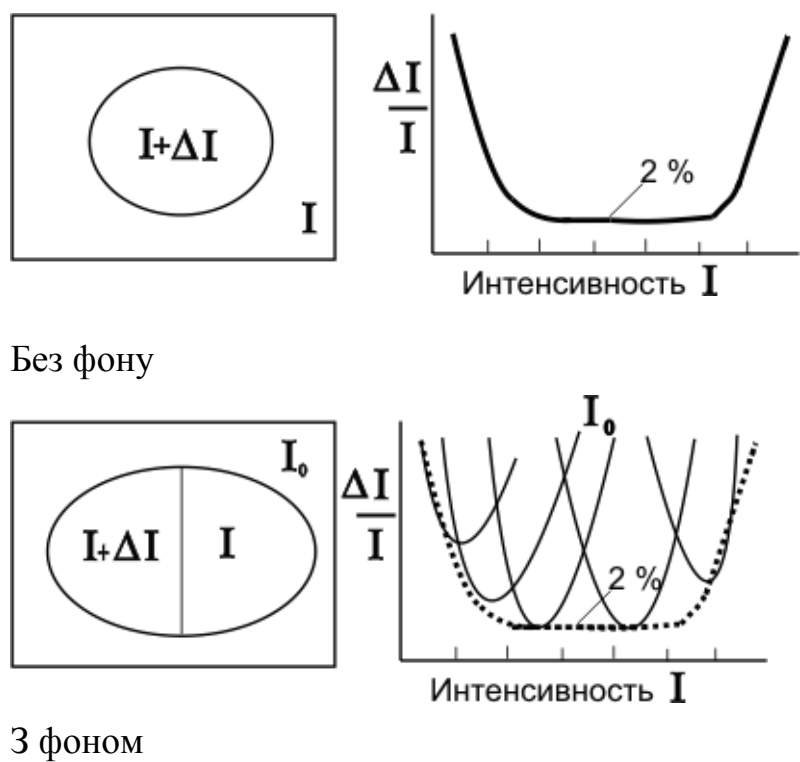


Рис.5.34 - Вимірювання контрастної чутливості.

При збільшенні значення dI/I , неоднорідності стають помітніші [36]. У блоці контрастування будується гістограма розподілу яскравості виділеної області (рис. 5.35).

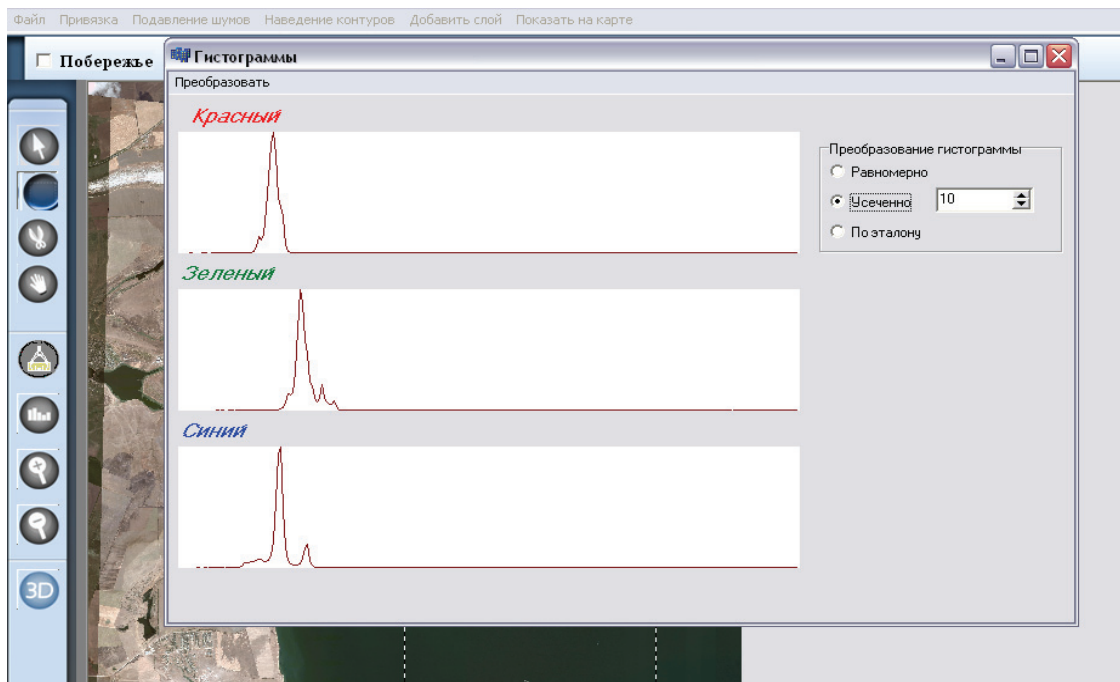


Рис.5.35 - Гістограма розподілу яскравості спектральних піддіапазонів морської поверхні.

Лістинг фрагменту програми, яка аналізує гістограму яскравості

```
void __fastcall TFormGis::FormShow(TObject *Sender)
1. { if(Form_Osn->priz_gis)return;
2. TColor col; double matR=0, matG=0, matB=0; double maxR=0, maxG=0, maxB=0;
3. BrushBmp= new Graphics::TBitmap; myBmp= new Graphics::TBitmap;
4. BrushBmp->Height=FormG->Y2-FormG->Y1;
5. BrushBmp->Width=FormG->X2-FormG->X1;
6. myBmp->Height=BrushBmp->Height;
7. myBmp->Width=BrushBmp->Width;
8. BrushBmp->Canvas->CopyRect(Rect(0,0, BrushBmp->Width,BrushBmp->Height),
   Form_Osn->Im_Photo->IEBitmap->Canvas,
      Rect(FormG->X1,FormG->Y1,FormG->X2,FormG->Y2));
9. Form_Osn->ProgressBar1->Max=BrushBmp->Height*BrushBmp->Width;
10. Form_Osn->ProgressBar1->Visible=true;
11. for(int i=0; i<256; i++){Form_Osn->Red[i]=Form_Osn->Green[i]=Form_Osn-
   >Blue[i]=0;}
12. for(int j=0; j<BrushBmp->Height; j++) {
13. Form_Osn->ProgressBar1->Position=j*BrushBmp->Width;
14. Form_Osn->ProgressBar1->Repaint();
15. for(int i=0; i<BrushBmp->Width; i++) {
16. col=BrushBmp->Canvas->Pixels[i][j];
17. Form_Osn->Red[GetRValue(col)]+=1;
18. Form_Osn->Green[GetGValue(col)]+=1;
```

```

19. Form_Osn->Blue[GetBValue(col)]+=1;
20. matR+=GetRValue(col); matG+=GetGValue(col); matB+=GetBValue(col); } }
21. for(int i=0; i<256; i++) {
22. Form_Osn->Red[i]=Form_Osn->Red[i]*100./(BrushBmp->Height*BrushBmp->Width);
23. Form_Osn->Green[i]=Form_Osn->Green[i]*100./(BrushBmp->Height*BrushBmp-
    >Width);
24. Form_Osn->Blue[i]=Form_Osn->Blue[i]*100./(BrushBmp->Height*BrushBmp-
    >Width);
25. if(maxR<Form_Osn->Red[i])maxR=Form_Osn->Red[i];
26. if(maxG<Form_Osn->Green[i])maxG=Form_Osn->Green[i];
27. if(maxB<Form_Osn->Blue[i])maxB=Form_Osn->Blue[i]; }
28. double cenR, cenG, cenB;
29. cenR=(double)FormGis->Image1->Height/maxR;
30. cenG=(double)FormGis->Image2->Height/maxG;
31. cenB=(double)FormGis->Image3->Height/maxB;
32. if(ColorDialog1->Execute()) {
33. FormGis->Image1->Canvas->Pen->Color=ColorDialog1->Color;
34. FormGis->Image2->Canvas->Pen->Color=ColorDialog1->Color;
35. FormGis->Image3->Canvas->Pen->Color=ColorDialog1->Color; }
36. else { FormGis->Image1->Canvas->Pen->Color=clRed;
37. FormGis->Image2->Canvas->Pen->Color=clGreen;
38. FormGis->Image3->Canvas->Pen->Color=clBlue; }
39. int y1,y2;
40. for(int i=0; i<256-1; i++) {
41. y1=FormGis->Image1->Height-cenR*Form_Osn->Red[i];
42. FormGis->Image1->Canvas->MoveTo (i*2,y1);
43. y2=FormGis->Image1->Height-cenR*Form_Osn->Red[i+1];
44. FormGis->Image1->Canvas->LineTo((i+1)*2,y2);
45. y1=FormGis->Image2->Height-Form_Osn->Green[i]*cenG;
46. FormGis->Image2->Canvas->MoveTo(i*2,y1);
47. y2=FormGis->Image2->Height-Form_Osn->Green[i+1]*cenG;
48. FormGis->Image2->Canvas->LineTo((i+1)*2,y2);
49. y1=FormGis->Image3->Height-Form_Osn->Blue[i]*cenB;
50. FormGis->Image3->Canvas->MoveTo(i*2,y1);
51. y2=FormGis->Image3->Height-Form_Osn->Blue[i+1]*cenB;
52. FormGis->Image3->Canvas->LineTo((i+1)*2,y2); }
53. matR/=(BrushBmp->Height*BrushBmp->Width);
54. matG/=(BrushBmp->Height*BrushBmp->Width);
55. matB/=(BrushBmp->Height*BrushBmp->Width);
56. double disR=0, disG=0, disB=0;
57. for(int i=0; i<256; i++) {
58. disR+=(matR-i)*(matR-i)*Form_Osn->Red[i]/100;
59. disG+=(matG-i)*(matG-i)*Form_Osn->Green[i]/100;
60. disB+=(matB-i)*(matB-i)*Form_Osn->Blue[i]/100; }
61. Form_Osn->ProgressBar1->Visible=false; }
62.

```

Лістинг фрагменту програми, яка корегує гістограму яскравості

```
void TFormGis::Rast_Ravn()
```

```
1. { short minR, minB, minG, maxR, maxG, maxB;
```

```

2.     double mashtR, mashtB, mashtG; Form_Osn->ProgressBar1->Visible=true;
3.     Form_Osn->ProgressBar1->Max=abs((FormG->X1-FormG->X2)*(FormG->Y1-FormG-
>Y2));
4.     for(int i=0; i<256; i++){if(Form_Osn->Red[i]>0){
5.         minR=i; break;}}
6.     for(int i=0; i<256; i++){if(Form_Osn->Green[i]>0){
7.         minG=i;break;}}
8.     for(int i=0; i<256; i++){
9.         if(Form_Osn->Blue[i]>0){minB=i;break;}}
10.    for(int i=255; i>0; i--){
11.        if(Form_Osn->Red[i]>0){maxR=i;break;}}
12.    for(int i=255; i>0; i--){if(Form_Osn->Green[i]>0){
13.        maxG=i;break;}}
14.    for(int i=255; i>0; i--){if(Form_Osn->Blue[i]>0)
15.        {maxB=i;break;}}
16.    mashtR=255./((double)(maxR-minR)); mashtG=255./((double)(maxG-minG));
17.    mashtB=255./((double)(maxB-minB));
18.    for(int i=0; i<BrushBmp->Width; i++){
19.        Form_Osn->ProgressBar1->Position=i*BrushBmp->Height;
20.        Form_Osn->ProgressBar1->Repaint();
21.        for(int j=0; j<BrushBmp->Height; j++) {
22.            TColor col=BrushBmp->Canvas->Pixels[i][j];
23.            int i_R=((double)GetRValue(col)-minR)*mashtR;
24.            if(i_R<0) i_R=0; if(i_R>255) i_R=255;
25.            int i_G=((double)GetGValue(col)-minG)*mashtG;
26.            if(i_G<0) i_G=0; if(i_G>255) i_G=255;
27.            int i_B=((double)GetBValue(col)-minB)*mashtB;
28.            if(i_B<0) i_B=0; if(i_B>255) i_B=255;
29.            myBmp->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(i_R, i_G, i_B)); } }
30.    Form_Osn->Im_Photo->IEBitmap->Canvas->CopyRect( Rect(FormG->X1,FormG-
>Y1,FormG->X2,FormG->Y2), myBmp->Canvas, Rect(0,0,BrushBmp-
>Width,BrushBmp->Height));
31.    Form_Osn->Im_Photo->Repaint(); FormGis->Close();
32.    Form_Osn->ProgressBar1->Visible=false;}
void TFormGis::Rast_Usech() {
33.    short minR, minB, minG, maxR, maxG, maxB;
34.    double mashtR, mashtB, mashtG, varR, varG, varB;
35.    double poteri=0.5*CSpinEdit1->Value;
36.    Form_Osn->ProgressBar1->Visible=true;
37.    Form_Osn->ProgressBar1->Max=BrushBmp->Height*BrushBmp->Width;
38.    varR=varG=varB=0;
39.    for(int i=0; i<256; i++) { varR+=Form_Osn->Red[i];
40.        if(varR>poteri) { minR=i; break; } }
41.    for(int i=0; i<256; i++) { varG+=Form_Osn->Green[i];
42.        if(varG>poteri) { minG=i; break; } }
43.    for(int i=0; i<256; i++) { varB+=Form_Osn->Blue[i];
44.        if(varB>poteri) { minB=i; break; } }
45.    varR=varG=varB=0;
46.    for(int i=255; i>0; i--) { varR+=Form_Osn->Red[i];
47.        if(varR>poteri) { maxR=i; break; } }

```

```

48.   for(int i=255; i>0; i--) { varG+=Form_Osn->Green[i];
49.   if(varG>poteri) { maxG=i; break; } }
50.   for(int i=255; i>0; i--) { varB+=Form_Osn->Blue[i];
51.   if(varB>poteri) { maxB=i; break; } }
52.   mashtR=255./((double)(maxR-minR));
53.   mashtG=255./((double)(maxG-minG));
54.   mashtB=255./((double)(maxB-minB));
55.   for(int i=0; i<BrushBmp->Width; i++) {
56.   Form_Osn->ProgressBar1->Position=i*BrushBmp->Height;
57.   Form_Osn->ProgressBar1->Repaint();
58.   for(int j=0; j<BrushBmp->Height; j++) {
59.   TColor col=BrushBmp->Canvas->Pixels[i][j];
60.   int i_R=((double)GetRValue(col)-minR)*mashtR;
61.   if(i_R<0)i_R=0; if(i_R>255) i_R=255;
62.   int i_G=((double)GetGValue(col)-minG)*mashtG;
63.   if(i_G<0)i_G=0; if(i_G>255) i_G=255;
64.   int i_B=((double)GetBValue(col)-minB)*mashtB;
65.   if(i_B<0)i_B=0; if(i_B>255) i_B=255;
66.   myBmp->Canvas->Pixels[i][j]=TColor(RGB(i_R, i_G, i_B));
67.   } }
68.   Form_Osn->Im_Photo->IEBitmap->Canvas->CopyRect( Rect(FormG->X1,FormG-
->Y1,FormG->X2,FormG->Y2), myBmp->Canvas, Rect(0,0,BrushBmp-
->Width,BrushBmp->Height));
69.   Form_Osn->Im_Photo->Repaint(); FormGis->Close();
70.   Form_Osn->ProgressBar1->Visible=false; }

```

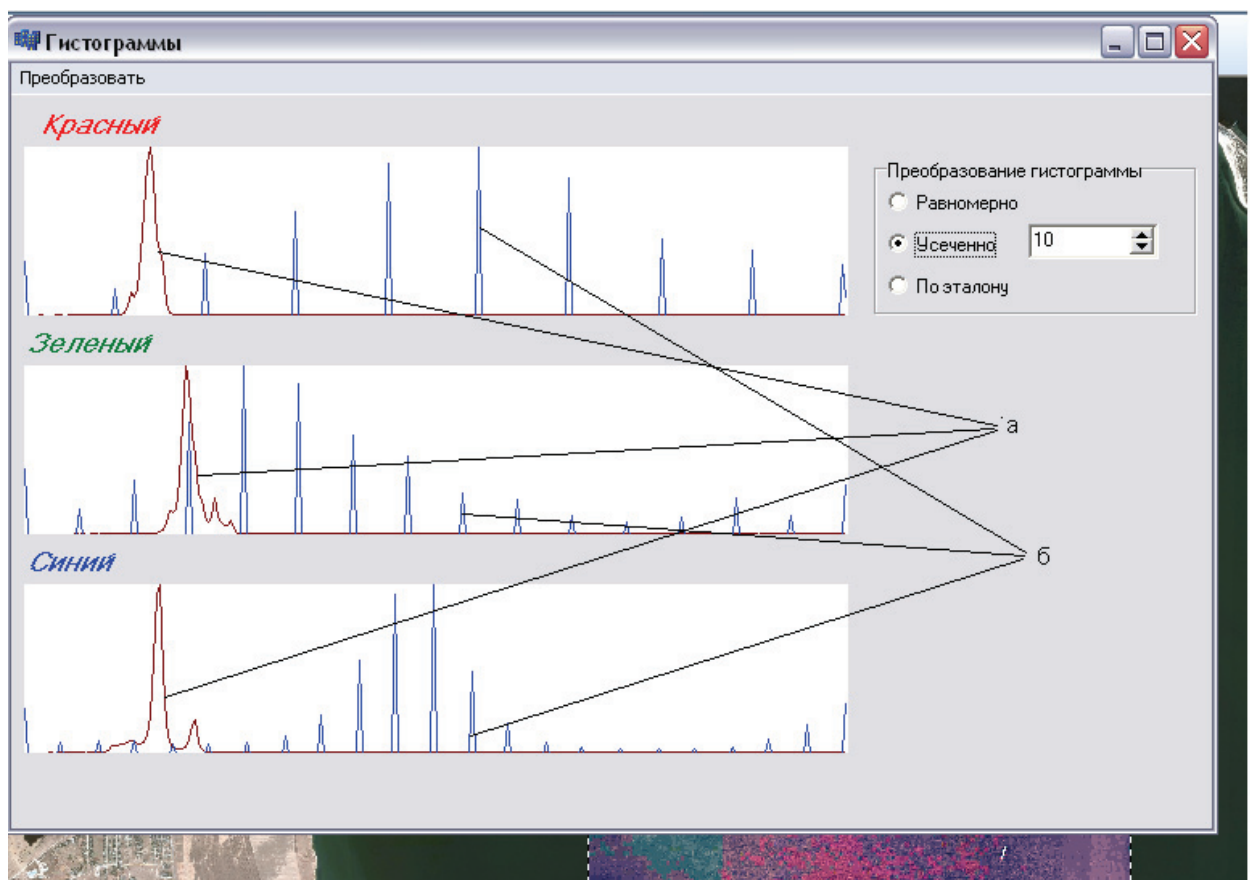


Рис.5.36 - Початкова (а) і відкоректована (б) гістограми розподілу яскравостей

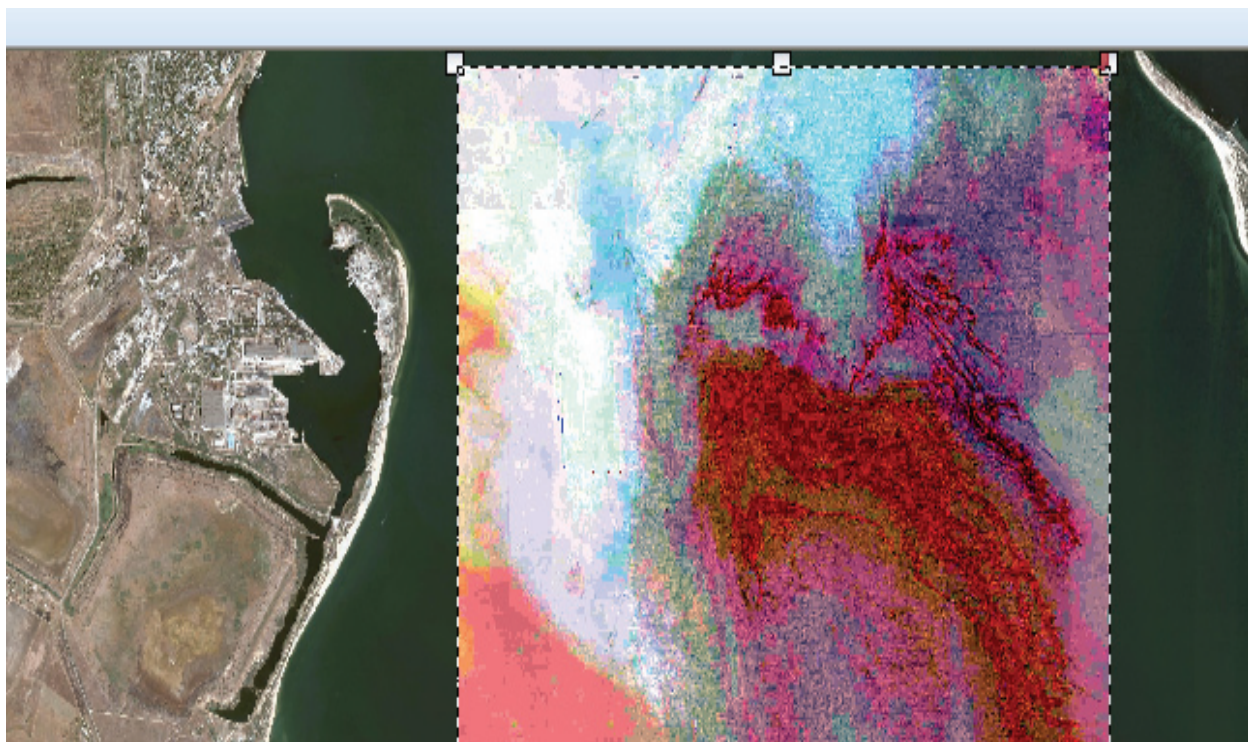


Рис.5.37 - Початкове і відкоректоване зображення морської поверхні.

Як видно з рис.5.35, на гістограмі основні значення розподілу яскравості спектральних діапазонів ділянки морської поверхні значення сконцентровані у вузькому піддіапазоні. Із-за незначної різниці межі забруднень не визначаються. При коректуванні гістограми (рис.5.36), початкове зображення стає контрастнішим і, як наслідок, неоднорідності розрізняються (рис.5.37).

5.2.3 Блок автоматичної сегментації і векторизації

Даний блок є призначеним для автоматичного отримання векторних шарів забруднення на морській поверхні. При виборі режиму автоматичної векторизації з'являється вікно установок для автоматичної векторизації, де вибирається ступінь чутливості і допустиме відхилення при апроксимації прямої (рис.5.38).

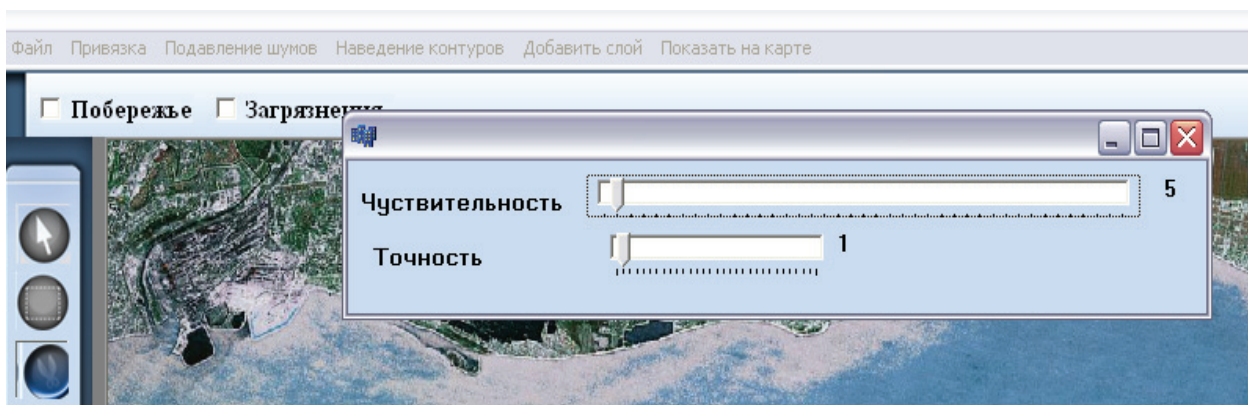


Рис.5.38 - Діалогове вікно автоматичної векторизації.

Після вибору умов векторизації на зображенні указується ділянка морської поверхні і по 8-ми зв'язній системі (рис.5.39) і визначається кластер знімка, що задовольняє вказаному порогу [62]. Одержаний контур апроксимується прямими, причому відхилення не повинне перевищувати значення точності встановленого користувачем.

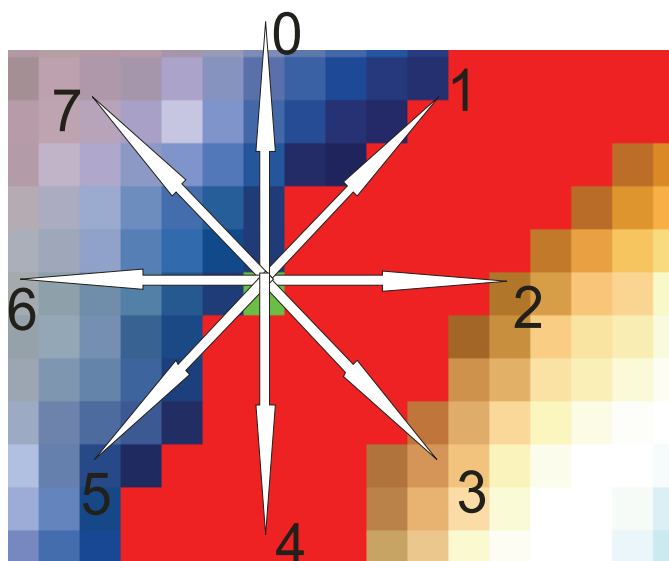


Рис.5.39 - Порядок обходу по 8-ми зв'язній системі

Лістинг фрагменту програми, який проводить векторизацію локальних неоднорідностей на знімку

```
void TForm_Osn::vector_9(int X1, int Y1)
1. {int porog, i_R, i_G, i_B; unsigned char *ptr;
2. static int i; static int k, ch; int dx=0, dy=0, n=8;
3. kol_uzl1=0; ch=0;
4. gr[0]=false; gr[1]=false; gr[2]=false;
5. Y2=Y1; X2=X1;
6. porog=Form_Vector->TB_Por->Position; k=0;
7. color=Im_Photo->IEBitmap->Canvas->Pixels[X1][Y1];
8. i_R=GetRValue(color); i_G=GetGValue(color); i_B=GetBValue(color);
9. i_R_max=i_R+porog; i_G_max=i_G+porog; i_B_max=i_B+porog;
10. i_R_min=i_R-porog; i_G_min=i_G-porog; i_B_min=i_B-porog;
11. color=Im_Photo->IEBitmap->Canvas->Pixels[X1-1][Y1];
12. i_R=GetRValue(color); i_G=GetGValue(color); i_B=GetBValue(color);
13. i_R_max1=i_R+porog; i_G_max1=i_G+porog; i_B_max1=i_B+porog;
14. i_R_min1=i_R-porog; i_G_min1=i_G-porog; i_B_min1=i_B-porog;
15. color=Im_Photo->IEBitmap->Canvas->Pixels[X1-1][Y1-1];
16. i_R=GetRValue(color); i_G=GetGValue(color); i_B=GetBValue(color);
17. i_R_max2=i_R+porog; i_G_max2=i_G+porog; i_B_max2=i_B+porog;
18. i_R_min2=i_R-porog; i_G_min2=i_G-porog; i_B_min2=i_B-porog;
19. color=Im_Photo->IEBitmap->Canvas->Pixels[X1][Y1-1];
20. i_R=GetRValue(color); i_G=GetGValue(color); i_B=GetBValue(color);
21. i_R_max3=i_R+porog; i_G_max3=i_G+porog; i_B_max3=i_B+porog;
22. i_R_min3=i_R-porog; i_G_min3=i_G-porog; i_B_min3=i_B-porog;
23. color=Im_Photo->IEBitmap->Canvas->Pixels[X1+1][Y1-1];
24. i_R=GetRValue(color); i_G=GetGValue(color); i_B=GetBValue(color);
```

```

25. i_R_max4=i_R+porog; i_G_max4=i_G+porog; i_B_max4=i_B+porog;
26. i_R_min4=i_R-porog; i_G_min4=i_G-porog; i_B_min4=i_B-porog;
27. color=Im_Photo->IEBitmap->Canvas->Pixels[X1+1][Y1];
28. i_R=GetRValue(color); i_G=GetGValue(color); i_B=GetBValue(color);
29. i_R_max5=i_R+porog; i_G_max5=i_G+porog; i_B_max5=i_B+porog;
30. i_R_min5=i_R-porog; i_G_min5=i_G-porog; i_B_min5=i_B-porog;
31. color=Im_Photo->IEBitmap->Canvas->Pixels[X1+1][Y1+1];
32. i_R=GetRValue(color); i_G=GetGValue(color); i_B=GetBValue(color);
33. i_R_max6=i_R+porog; i_G_max6=i_G+porog; i_B_max6=i_B+porog;
34. i_R_min6=i_R-porog; i_G_min6=i_G-porog; i_B_min6=i_B-porog;
35. color=Im_Photo->IEBitmap->Canvas->Pixels[X1][Y1+1];
36. i_R=GetRValue(color); i_G=GetGValue(color); i_B=GetBValue(color);
37. i_R_max7=i_R+porog; i_G_max7=i_G+porog; i_B_max7=i_B+porog;
38. i_R_min7=i_R-porog; i_G_min7=i_G-porog; i_B_min7=i_B-porog;
39. color=Im_Photo->IEBitmap->Canvas->Pixels[X1-1][Y1+1];
40. i_R=GetRValue(color); i_G=GetGValue(color); i_B=GetBValue(color);
41. i_R_max8=i_R+porog; i_G_max8=i_G+porog; i_B_max8=i_B+porog;
42. i_R_min8=i_R-porog; i_G_min8=i_G-porog; i_B_min8=i_B-porog;
43. X_Right=X1;
44. ptr=(unsigned char*)Im_Photo->IEBitmap->ScanLine[Y1];
45. i_R=ptr[X_Right*3+2]; i_G=ptr[X_Right*3+1]; i_B=ptr[X_Right*3];
46. while(((i_R>=i_R_min && i_R<=i_R_max &&
    i_B>=i_B_min && i_B<=i_B_max && i_G>=i_G_min && i_G<=i_G_max)||
    (i_R>=i_R_min1 && i_R<=i_R_max1 &&
    i_B>=i_B_min1 && i_B<=i_B_max1 && i_G>=i_G_min1 && i_G<=i_G_max1)||
    (i_R>=i_R_min2 && i_R<=i_R_max2 &&
    i_B>=i_B_min2 && i_B<=i_B_max2 && i_G>=i_G_min2 && i_G<=i_G_max2)||
    (i_R>=i_R_min3 && i_R<=i_R_max3 &&
    i_B>=i_B_min3 && i_B<=i_B_max3 && i_G>=i_G_min3 && i_G<=i_G_max3)||
    (i_R>=i_R_min4 && i_R<=i_R_max4 &&
    i_B>=i_B_min4 && i_B<=i_B_max4 && i_G>=i_G_min4 && i_G<=i_G_max4)||
    (i_R>=i_R_min5 && i_R<=i_R_max5 &&
    i_B>=i_B_min5 && i_B<=i_B_max5 && i_G>=i_G_min5 && i_G<=i_G_max5)||
    (i_R>=i_R_min6 && i_R<=i_R_max6 &&
    i_B>=i_B_min6 && i_B<=i_B_max6 && i_G>=i_G_min6 && i_G<=i_G_max6)||
    (i_R>=i_R_min7 && i_R<=i_R_max7 &&
    i_B>=i_B_min7 && i_B<=i_B_max7 && i_G>=i_G_min7 && i_G<=i_G_max7)||
    (i_R>=i_R_min8 && i_R<=i_R_max8 &&
    i_B>=i_B_min8 && i_B<=i_B_max8 && i_G>=i_G_min8 && i_G<=i_G_max8))&&
    X_Right!=Im_Photo->IEBitmap->Width-1) {
47. X_Right++; i_R=ptr[X_Right*3+2]; i_G=ptr[X_Right*3+1]; i_B=ptr[X_Right*3]; }
    X_Right--; Y_Top=Y1;
48. ptr=(unsigned char*)Im_Photo->IEBitmap->ScanLine[Y_Top];
49. i_R=ptr[X1*3+2]; i_G=ptr[X1*3+1]; i_B=ptr[X1*3];
50. while(((i_R>=i_R_min && i_R<=i_R_max &&
    i_B>=i_B_min && i_B<=i_B_max && i_G>=i_G_min && i_G<=i_G_max)||
    (i_R>=i_R_min1 && i_R<=i_R_max1 &&
    i_B>=i_B_min1 && i_B<=i_B_max1 && i_G>=i_G_min1 && i_G<=i_G_max1)||
    (i_R>=i_R_min2 && i_R<=i_R_max2 &&
    i_B>=i_B_min2 && i_B<=i_B_max2 && i_G>=i_G_min2 && i_G<=i_G_max2)||
    (i_R>=i_R_min3 && i_R<=i_R_max3 &&

```

```

i_B>=i_B_min3 && i_B<=i_B_max3 && i_G>=i_G_min3 && i_G<=i_G_max3)||
(i_R>=i_R_min4 && i_R<=i_R_max4 &&
i_B>=i_B_min4 && i_B<=i_B_max4 && i_G>=i_G_min4 && i_G<=i_G_max4)||
(i_R>=i_R_min5 && i_R<=i_R_max5 &&
i_B>=i_B_min5 && i_B<=i_B_max5 && i_G>=i_G_min5 && i_G<=i_G_max5)||
(i_R>=i_R_min6 && i_R<=i_R_max6 &&
i_B>=i_B_min6 && i_B<=i_B_max6 && i_G>=i_G_min6 && i_G<=i_G_max6)||
(i_R>=i_R_min7 && i_R<=i_R_max7 &&
i_B>=i_B_min7 && i_B<=i_B_max7 && i_G>=i_G_min7 && i_G<=i_G_max7)||
(i_R>=i_R_min8 && i_R<=i_R_max8 &&
i_B>=i_B_min8 && i_B<=i_B_max8 && i_G>=i_G_min8 && i_G<=i_G_max8))&&
Y_Top!=0) { Y_Top--;
51. ptr=(unsigned char*)Im_Photo->IEBitmap->ScanLine[Y_Top];
52. i_R=ptr[X1*3+2]; i_G=ptr[X1*3+1]; i_B=ptr[X1*3]; }
53. Y_Top++; Y_Bot=Y1;
54. ptr=(unsigned char*)Im_Photo->IEBitmap->ScanLine[Y_Bot];
55. i_R=ptr[X1*3+2]; i_G=ptr[X1*3+1]; i_B=ptr[X1*3];
56. while(((i_R>=i_R_min && i_R<=i_R_max &&
i_B>=i_B_min && i_B<=i_B_max && i_G>=i_G_min && i_G<=i_G_max)||
(i_R>=i_R_min1 && i_R<=i_R_max1 &&
i_B>=i_B_min1 && i_B<=i_B_max1 && i_G>=i_G_min1 && i_G<=i_G_max1)||
(i_R>=i_R_min2 && i_R<=i_R_max2 &&
i_B>=i_B_min2 && i_B<=i_B_max2 && i_G>=i_G_min2 && i_G<=i_G_max2)||
(i_R>=i_R_min3 && i_R<=i_R_max3 &&
i_B>=i_B_min3 && i_B<=i_B_max3 && i_G>=i_G_min3 && i_G<=i_G_max3)||
(i_R>=i_R_min4 && i_R<=i_R_max4 &&
i_B>=i_B_min4 && i_B<=i_B_max4 && i_G>=i_G_min4 && i_G<=i_G_max4)||
(i_R>=i_R_min5 && i_R<=i_R_max5 &&
i_B>=i_B_min5 && i_B<=i_B_max5 && i_G>=i_G_min5 && i_G<=i_G_max5)||
(i_R>=i_R_min6 && i_R<=i_R_max6 &&
i_B>=i_B_min6 && i_B<=i_B_max6 && i_G>=i_G_min6 && i_G<=i_G_max6)||
(i_R>=i_R_min7 && i_R<=i_R_max7 &&
i_B>=i_B_min7 && i_B<=i_B_max7 && i_G>=i_G_min7 && i_G<=i_G_max7)||
(i_R>=i_R_min8 && i_R<=i_R_max8 &&
i_B>=i_B_min8 && i_B<=i_B_max8 && i_G>=i_G_min8 && i_G<=i_G_max8))&&
Y_Bot!=Im_Photo->IEBitmap->Height-1) {
57. Y_Bot++; ptr=(unsigned char*)Im_Photo->IEBitmap->ScanLine[Y_Bot];
58. i_R=ptr[X1*3+2]; i_G=ptr[X1*3+1]; i_B=ptr[X1*3]; } Y_Bot--;
59. ptr=(unsigned char*)Im_Photo->IEBitmap->ScanLine[Y1];
60. i_R=ptr[X1*3+2]; i_G=ptr[X1*3+1]; i_B=ptr[X1*3];
61. while(((i_R>=i_R_min && i_R<=i_R_max &&
i_B>=i_B_min && i_B<=i_B_max && i_G>=i_G_min && i_G<=i_G_max)||
(i_R>=i_R_min1 && i_R<=i_R_max1 &&
i_B>=i_B_min1 && i_B<=i_B_max1 && i_G>=i_G_min1 && i_G<=i_G_max1)||
(i_R>=i_R_min2 && i_R<=i_R_max2 &&
i_B>=i_B_min2 && i_B<=i_B_max2 && i_G>=i_G_min2 && i_G<=i_G_max2)||
(i_R>=i_R_min3 && i_R<=i_R_max3 &&
i_B>=i_B_min3 && i_B<=i_B_max3 && i_G>=i_G_min3 && i_G<=i_G_max3)||
(i_R>=i_R_min4 && i_R<=i_R_max4 &&
i_B>=i_B_min4 && i_B<=i_B_max4 && i_G>=i_G_min4 && i_G<=i_G_max4)||
(i_R>=i_R_min5 && i_R<=i_R_max5 &&

```

```

i_B>=i_B_min5 && i_B<=i_B_max5 && i_G>=i_G_min5 && i_G<=i_G_max5)||
(i_R>=i_R_min6 && i_R<=i_R_max6 &&
i_B>=i_B_min6 && i_B<=i_B_max6 && i_G>=i_G_min6 && i_G<=i_G_max6)||
(i_R>=i_R_min7 && i_R<=i_R_max7 &&
i_B>=i_B_min7 && i_B<=i_B_max7 && i_G>=i_G_min7 && i_G<=i_G_max7)||
(i_R>=i_R_min8 && i_R<=i_R_max8 &&
i_B>=i_B_min8 && i_B<=i_B_max8 && i_G>=i_G_min8 && i_G<=i_G_max8)) &&
X1!=0){X1--;
62. i_R=ptr[X1*3+2]; i_G=ptr[X1*3+1]; i_B=ptr[X1*3];}
63. if(X1!=0) X1++; xStart=X1; yStart=Y1;
64. dx=0;dy=0;n=8; i=-1; V:
65. if(X1==1)X1=0;
66. if(X1==Im_Photo->IEBitmap-Width)X1==Im_Photo->IEBitmap->Width-1;
67. if(Y1==1)Y1=0;
68. if(Y1==Im_Photo->IEBitmap->Height) Y1==Im_Photo->IEBitmap->Height-1;
69. mas[ch].x=X1; mas[ch].y=Y1; ch++;
70. if(ch==StrToInt(99999)) { Aproks1(ch); ch=0; }
71. if(X1==X2 && Y1<=Y_Top) gr[0]=true;
72. if(X1==X2 && Y1>=Y_Bot) gr[1]=true;
73. if(Y1==Y2 && X1>=X_Right)gr[2]=true;
74. if(xStart==X1 && yStart==Y1 && i>0) {
75. if(gr[0]==true && gr[1]==true && gr[2]==true)
76. goto M_R;
77. else { X1--; ptr=(unsigned char*)Im_Photo->IEBitmap->ScanLine[Y1];
78. i_R=ptr[X1*3+2]; i_G=ptr[X1*3+1]; i_B=ptr[X1*3];
79. while(((i_R<i_R_min || i_R>i_R_max ||
i_B<i_B_min || i_B>i_B_max || i_G<i_G_min || i_G>i_G_max)&&
(i_R<i_R_min1 || i_R>i_R_max1 || i_B<i_B_min1 || i_B>i_B_max1 ||
i_G<i_G_min1 || i_G>i_G_max1)&& (i_R<i_R_min2 || i_R>i_R_max2 ||
i_B<i_B_min2 || i_B>i_B_max2 || i_G<i_G_min2 || i_G>i_G_max2)&&
(i_R<i_R_min3 || i_R>i_R_max3 || i_B<i_B_min3 || i_B>i_B_max3 ||
i_G<i_G_min3 || i_G>i_G_max3)&& (i_R<i_R_min4 || i_R>i_R_max4 ||
i_B<i_B_min4 || i_B>i_B_max4 || i_G<i_G_min4 || i_G>i_G_max4)&&
(i_R<i_R_min5 || i_R>i_R_max5 || i_B<i_B_min5 || i_B>i_B_max5 ||
i_G<i_G_min5 || i_G>i_G_max5)&& (i_R<i_R_min6 || i_R>i_R_max6 ||
i_B<i_B_min6 || i_B>i_B_max6 || i_G<i_G_min6 || i_G>i_G_max6)&&
(i_R<i_R_min7 || i_R>i_R_max7 || i_B<i_B_min7 || i_B>i_B_max7 ||
i_G<i_G_min7 || i_G>i_G_max7)&& (i_R<i_R_min8 || i_R>i_R_max8 ||
i_B<i_B_min8 || i_B>i_B_max8 || i_G<i_G_min8 || i_G>i_G_max8)) && X1!=0) { X1--;
i_R=ptr[X1*3+2]; i_G=ptr[X1*3+1]; i_B=ptr[X1*3]; }
80. while(((i_R>=i_R_min && i_R<=i_R_max && i_B>=i_B_min && i_B<=i_B_max &&
i_G>=i_G_min && i_G<=i_G_max)||
(i_R>=i_R_min1 && i_R<=i_R_max1 && i_B>=i_B_min1 && i_B<=i_B_max1 &&
i_G>=i_G_min1 && i_G<=i_G_max1)||
(i_R>=i_R_min2 && i_R<=i_R_max2 && i_B>=i_B_min2 && i_B<=i_B_max2 &&
i_G>=i_G_min2 && i_G<=i_G_max2)||
(i_R>=i_R_min3 && i_R<=i_R_max3 && i_B>=i_B_min3 && i_B<=i_B_max3 &&
i_G>=i_G_min3 && i_G<=i_G_max3)||
(i_R>=i_R_min4 && i_R<=i_R_max4 && i_B>=i_B_min4 && i_B<=i_B_max4 &&
i_G>=i_G_min4 && i_G<=i_G_max4)||
(i_R>=i_R_min5 && i_R<=i_R_max5 && i_B>=i_B_min5 && i_B<=i_B_max5 &&
i_G>=i_G_min5 && i_G<=i_G_max5)||

```

```

(i_R>=i_R_min6 && i_R<=i_R_max6 && i_B>=i_B_min6 && i_B<=i_B_max6 &&
i_G>=i_G_min6 && i_G<=i_G_max6)||
(i_R>=i_R_min7 && i_R<=i_R_max7 && i_B>=i_B_min7 && i_B<=i_B_max7 &&
i_G>=i_G_min7 && i_G<=i_G_max7)||
(i_R>=i_R_min8 && i_R<=i_R_max8 && i_B>=i_B_min8 && i_B<=i_B_max8 &&
i_G>=i_G_min8 && i_G<=i_G_max8)) && X1!=0)
81. {X1--;i_R=ptr[X1*3+2];i_G=ptr[X1*3+1];i_B=ptr[X1*3];}X1++;
82. xStart=X1; yStart=Y1; dx=0;dy=0;n=8;i=-1;ch=0;goto V;}}i++;
83. X1=X1+dx; Y1=Y1+dy; n=Kuda_9(n,X1,Y1,dx,dy);
84. k++; if(k>1000000) goto M_R;if(n>=0) goto V;M_R:
85. if(ch!=0){Aproks1(ch);ch=0;}
86. Im_Photo->IEBitmap->Canvas->Pen->Color=clRed;
87. for(int n=0;n<kol_uzl1-1;n++){
88. Im_Photo->IEBitmap->Canvas->MoveTo(uzel[n].x, uzel[n].y);
89. Im_Photo->IEBitmap->Canvas->LineTo(uzel[n+1].x, uzel[n+1].y);
90. Im_Photo->IEBitmap->Canvas->MoveTo(uzel[n+1].x, uzel[n+1].y);}
91. Im_Photo->IEBitmap->Canvas->LineTo(uzel[0].x, uzel[0].y);
92. max1->Visible=true;Im_Photo->Repaint();}

```

Результат такої векторизації представлений на рис.5.40.

При необхідності збереження виділеної ділянки на знімку у векторний шар для подальшого аналізу виникає спливаюче меню «Зберегти об'єкт» (рис.5.41), проводиться розрахунок площі і периметра (A2) для виділеної ділянки і з'являється вікно з розрахованими даними (рис.5.42).

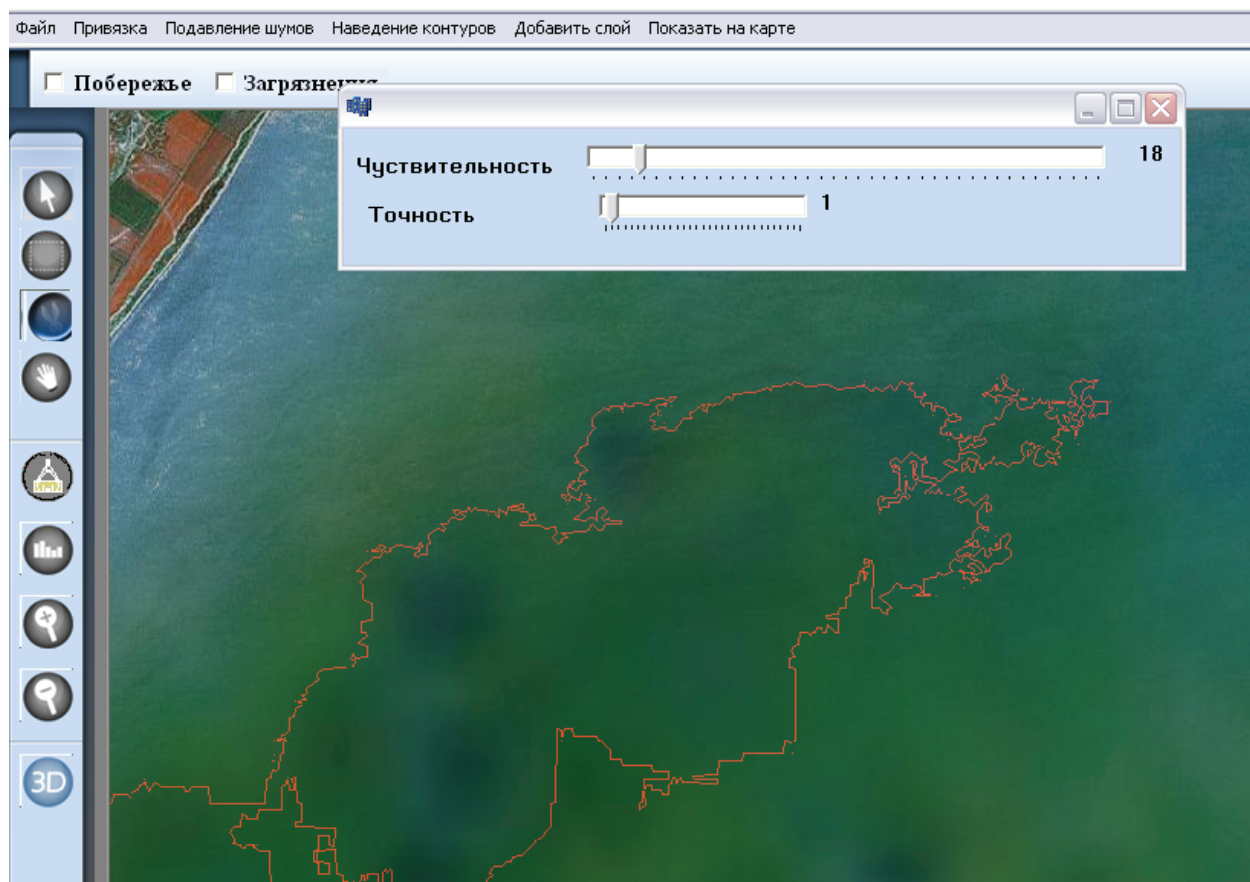


Рис. 5.40 - Ділянка морської поверхні, що була векторизована.

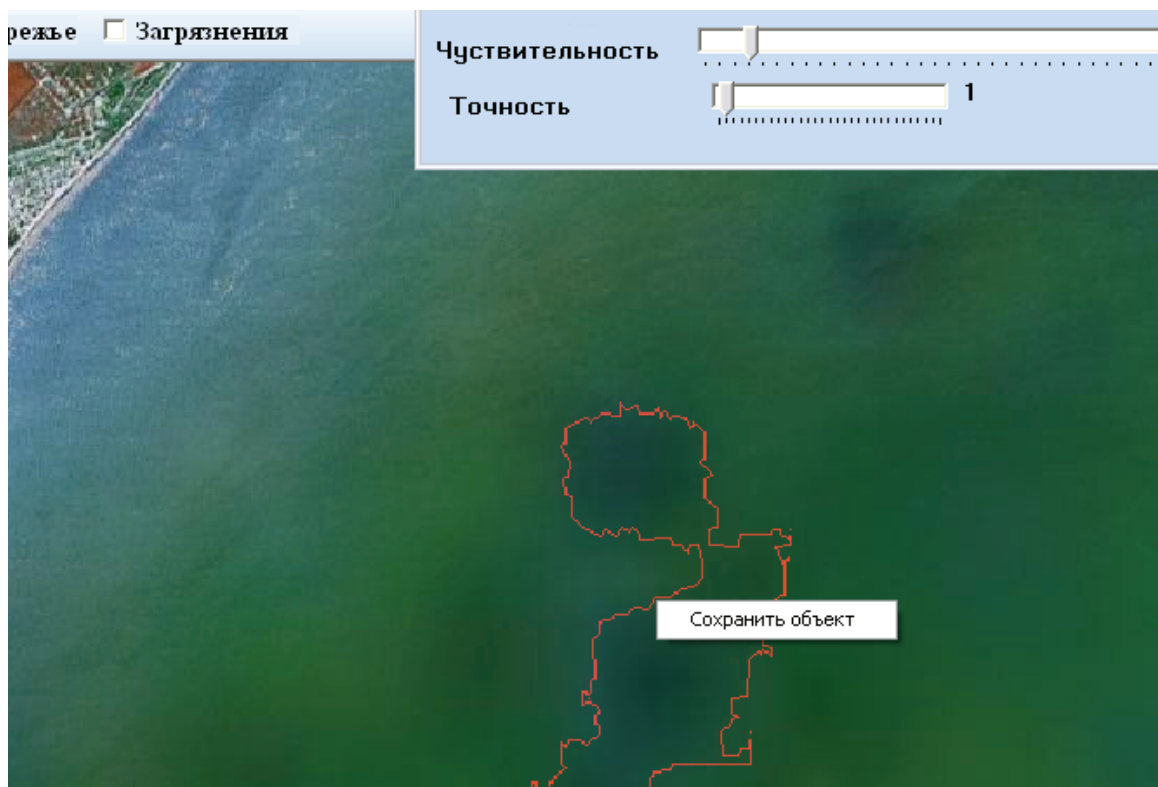


Рис.5.41 - Збереження виявленої аномалії у векторному шарі

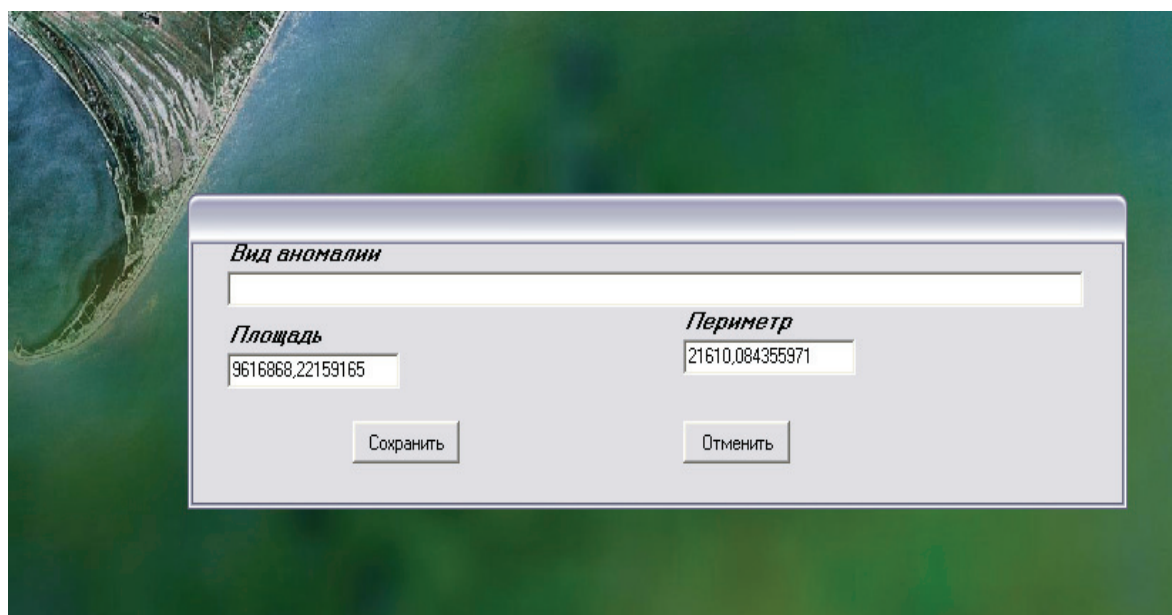


Рис.5.42 - Заповнення бази даних при збереженні об'єкту у векторному шарі

Дані зберігаються в стандартному форматі SHP, що дозволяє надалі використовувати одержані дані при роботі з пакетами ArcGis, ГІС - Панорама.

Оскільки SHP-формат не містить топологічної надбудови, вони мають ряд переваг перед іншими джерелами даних, наприклад, більша швидше промальовування і можливість редагування.

SHP-формат працюють з об'єктами у формі ліній і полігонів. Полігони повинні бути представлені у вигляді замкнутих фігур. Атрибутивні дані у

форматі dBase. Кожен запис бази даних знаходиться в зв'язку «один до одного» з відповідним записом об'єкту.

SHP-формат складається з головного файлу, індексного файлу і таблиці dBase. Головний файл - це файл прямого доступу, що містить записи змінної довгі, кожна з яких описує об'єкт за допомогою списку вершин. У індексному файлі кожен запис містить зсув відповідного запису в головному файлі відносно головного файлу. Таблиця dBase містить атрибути об'єктів. Тільки один рядок таблиці відповідає одному об'єкту в головному файлі. Відповідність «один до одного» між атрибутами і об'єктами ґрунтується на номері запису. Номер запису атрибутів в таблиці dBase повинен бути таким же, як і номер запису в головному файлі.

Назви файлів

Головний файл, індексний файл і dBase-файл повинні мати одне і те ж ім'я. Розширення головного файлу повинне бути таким: «.shp». Розширення індексного файлу: «.shx». Розширення dBase-файлу: «.dbf». Для інформації про те, за якими даними був одержаний шар забруднення, імена SHP-файлів повинні відповідати імені файлу з графічною інформацією.

Головний файл містить заголовок файлу фіксованої довжини, за яким слідує записи змінної довжини. Кожен запис змінної довжини складається із заголовка запису фіксованої довжини, за яким слідує вміст рядка змінної довжини.

Заголовок головного файлу. Довжина заголовка головного файлу - 100 байт. У таблиці показані поля, їх положення в байтах щодо початку файлу, і порядок байтів.

Опис заголовка головного файлу

Позиція	Поле	Значення	Тип	Порядок байтів
Байт 0	Код файлу	9994	Integer	Великий
Байт 4	Не застосов..	0	Integer	Великий
Байт 8	Не застосов..	0	Integer	Великий
Байт 12	Не застосов..	0	Integer	Великий
Байт 16	Не застосов..	0	Integer	Великий
Байт 20	Не застосов..	0	Integer	Великий
Байт 24	Длина файла	Длина файла	Integer	Великий
Байт 28	Версія	1000	Integer	Малий
Байт 32	Тип об'єкту	Тип объекта	Integer	Малий
Байт 36	Межі	Xmin	Double	Малий
Байт 44	Межі	Ymin	Double	Малий
Байт 52	Межі	Xmax	Double	Малий
Байт 60	Межі	Ymax	Double	Малий
Байт 68	Не застосов.	0	Integer	Великий
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
Байт 0	Не застосов.	0	Integer	Великий

Значення довжини файлу є загальна довжина файлу, в 16-бітових словах (включаючи 50 16-бітових слів, які складають заголовок).

Всі об'єкти в SHP-файлі повинні бути одного і того ж типу. Типам відповідають наступні значення, які повинні бути такими:

Величина	Тип Об'єкту
1	Точка
2	Дуга
5	Полігон
8	Набір точок

Заголовок запису

Заголовок для кожного запису містить номер запису і довжину вмісту запису. Заголовок запису має фіксовану довжину 8 байт. У Таблиці 2 показані поля заголовка запису, їх позиції щодо початку файлу, величини і порядок байтів.

Опис заголовка записів головного файлу

Позиція	Поле	Значення	Тип	Порядок байтів
Байт 0	Номер запису	Номер запису	Integer	Великий
Байт 4	Довжина зміст.	Довжина зміст.	Integer	Великий

Номери записів починаються з 1. Довжина вмісту запису вимірюється в 16-бітових словах. Отже, кожен запис складає (4 + довжина вмісту) 16-бітових слів, і такі записи розташовані аж до кінця файлу, довжина якого зберігається в 24-му байті заголовка файлу. Вміст запису SHP-файлу складається з типу об'єкту, за яким слідує геометричні дані об'єкту. Довжина вмісту запису залежить від кількості частин і вершин об'єкту. Для кожного типу об'єкту ми спочатку опишемо сам об'єкт, а потім його співвідношення з вмістом запису на диску.

Точка

Точка складається з пари чисел double-precision в порядку X, Y.

```
Point
{
  Double X //Координата X
  Double Y //Координата Y
}
```

Вміст запису «Точка»

Позиція	Поле	Значення	Тип	Кількість	Порядок байтів
Байт 0	Тип Об'єкту	1	Integer	1	Малий
Байт 4	X	X	Double	1	Малий
Байт 12	Y	Y	Double	1	Малий

Набор_точок

Набор_точок є набором точок:

```
MultiPoint
{
```

```
Double[4]    Box    //Граничний прямокут.
Integer      NumPoints //Кількість точок
Point[NumPoints]  Points      //Точки в наборі
Граничний прямокутник записується в наступному порядку: Xmin, Ymin, Xmax, Ymax.
}
```

Вміст запису «Набір точок»

Позиція	Поле	Значення	Тип	Кількіст	Порядок байтів
Байт 0	Тип Об'єкту	8	Integer	1	Малий
Байт 4	Box	Box	Double	4	Малий
Байт 36	NumPoints	NumPoints	Integer	1	Малий
Байт 40	Points	Points	Points	NumPoints	Малий

Дуга

Дуга SHP-файлу може складатися з набору поліліній, які не обов'язково стикаються одна з одною. Полілінія є впорядкований набір вершин. Кожна полілінія є частиною дуги.

```
Arc
{
Double[4]    Box    //Граничний прямоуг.
Integer      NumParts //Кількість частин
Integer      NumPoints //Загальна к-ть точок
Integer[NumParts]  Parts //Індекс першої частині
Point[NumPoints] Points //Точки для всіх частин
}
```

Поля для «Дуги»

Box	Граничний прямокутник для дуги, записаний у порядку Xmin, Ymin, Xmax, Ymax.
NumParts:	Кількість поліліній в дузі
NumPoints:	Загальна кількість для всіх поліліній.
Parts:	Масив завдовжки NumParts містить індекс першої в масиві полілінії. Масив індексів починається з 0.
Points:	Масив завдовжки NumPoints. Точки кожної полілінії в дузі зберігаються один за одним. Точки полілінії 2 слідуєть за точками полілінії 1 і так далі. Масив частин (Parts) містить індекс початкової точки для кожної полілінії. Немає ніякого роздільника в масиві між полілініями.

Позиція	Поле	Значення	Тип	Кількість	Порядок байтів
Байт 0	Тип Об'єкту	8	Integer	1	Малий
Байт 4	Box	Box	Double	4	Малий
Байт 36	NumPoints	NumPoints	Integer	1	Малий
Байт 40	NumPoints	NumPoints	Integer	1	Малий
Байт X	Points	Points	Point	NumPoints	Малий
Примітка: X = 44 + 4 * NumParts					

Полігон

Полігон складається з ряду замкнутих, самонепересічних контурів. Полігон може містити декілька внутрішніх контурів. Порядок вершин або орієнтація контурів показує, яка сторона контура знаходиться усередині полігону. Все, що знаходиться праворуч від спостерігача, що йде уздовж контура по порядку вершин, знаходиться усередині полігону. Таким чином вершини одиничного, зовнішнього по відношенню до інших контурів, полігону розташовані завжди за годинниковою стрілкою. Контури полігону - це його частини.

Структура полігону ідентична структурі дуги:

Polygon

```
{
Double[4]    Box    //Граничний прямокутник.
Integer      NumParts //Кількість частин
Integer      NumPoints //Загальна к-ть точок
Integer[NumParts] Parts //Індекс першої Точки в частині
Point[NumPoints] Points //Точки для всіх частин
}
```

Поля для «Полігону»

Box:	Граничний прямокутник для полігону, записаний у порядку Xmin, Ymin, Xmax, Ymax.
NumParts:	Кількість контурів в полігоні
NumPoints:	Загальна кількість точок для всіх контурів
Parts:	Масив завдовжки NumParts. містить індекс першої в масиві для кожного контура. Масив індексів починається з 0.
Points:	Масив завдовжки NumPoints. Точки кожного контура в полігоні зберігаються один за одним. Точки контура 2 слідує за точками контура 1 і так далі. Масив частин (parts) містить індекс початкової точки для кожного контура. Немає ніякого роздільника в масиві між контурами.

Вимоги до об'єктів типу «полігон»

- 1) Контури повинні бути замкнутими (перша і остання точка повинні бути однаковими). Порядок контурів полігоні не має значення.
- 2) Контури полігону не повинні мати сегментів, що перетинають один одного. Іншими словами, сегмент, що належить одному контуру, не може перетинатися з сегментом, що належить іншому контуру. Контури полігону можуть торкатися один одного у вершинах, але не уздовж сегментів

Вміст запису «Полігон»

Позиція	Поле	Значення	Тип	Кількість	Порядок байтів
Байт 0	Тип Об'єкту	5	Integer	1	Малий
Байт 4	Vox	Vox	Double	4	Малий
Байт 36	NumParts	NumParts	Integer	1	Малий
Байт 40	NumPoints	NumPoints	Integer	1	Малий
Байт X	Points	Points	Point	NumPoints	Малий
Примечание: $X = 44 + 4 * \text{NumParts}$					

Організація індексного файлу

Індексний файл містить 100-байтний заголовок, за яким сліднують 8-байтні записи фіксованої довжини.

Організація індексного файлу

Заголовок файлу	
Запис	
Запис	
Запис	
Запис	
...	
Запис	

Заголовок індексного файлу

Заголовок індексного файлу є ідентичним по організації заголовку головного файлу, який був описаним вище. Довжина файлу, що зберігається в заголовку файлу, є загальною довжиною індексного файлу, в 16-бітових словах. (П'ятдесят 16-бітових слів самого заголовка плюс ще 4 і помножити на кількість рядків).

Записи індексного файлу

I запис індексного файлу є зсувом і довжиною вмісту для I запису в головному файлі. Таблиця показує поля заголовка файлу, їхню позицію, величину і порядок байтів. У таблиці позиція - це кількість байтів по відношенню до початку запису індексного файлу.

Опис заголовка записів головного файлу

Позиція	Поле	Значення	Тип	Порядок байтів
Байт 0	Номер запису	Номер запису	Integer	Великий
Байт 4	Довжина зміст.	Довжина зміст.	Integer	Великий

Зсув запису в головному файлі є кількість 16-бітових слів від початку головного файлу до першого байта заголовка запису для цього запису. Таким чином, зсув першого запису головного файлу дорівнює 50, що є відповідно 100-байтним заголовком файлу до першого байта заголовка запису. Таким чином, зсув першого запису головного файлу дорівнює 50 і є 100-байтним заголовком файлу. Вміст запису, що зберігається в записі індексного файлу, має ту ж величину, що і вміст запису, що зберігається в заголовку запису головного файлу.

Організація файлу dBase

Файл dBase містить будь-яку атрибутивну інформацію про об'єкти або атрибутивні ключі, по яких можуть бути приєднані інші атрибутивні таблиці. Його формат - це стандартний формат DBF, який використовується багатьма додатками в Windows™ і DOS. У таблиці може бути представлений будь-який набір полів. Є тільки три вимоги, що пред'являються до таблиці, а саме:

1. Ім'я файлу повинне бути таким же, як і ім'я головного файлу, але з розширенням «.dbf».
2. Таблиця повинна містити один запис, що відповідний одному запису в головному файлі.
3. Порядок записів повинен бути таким же, як і порядок об'єктів в головному (*.shp) файлі.

Після отримання шару забруднень по даному знімку стає доступним компонент 12 (рис.5.43).

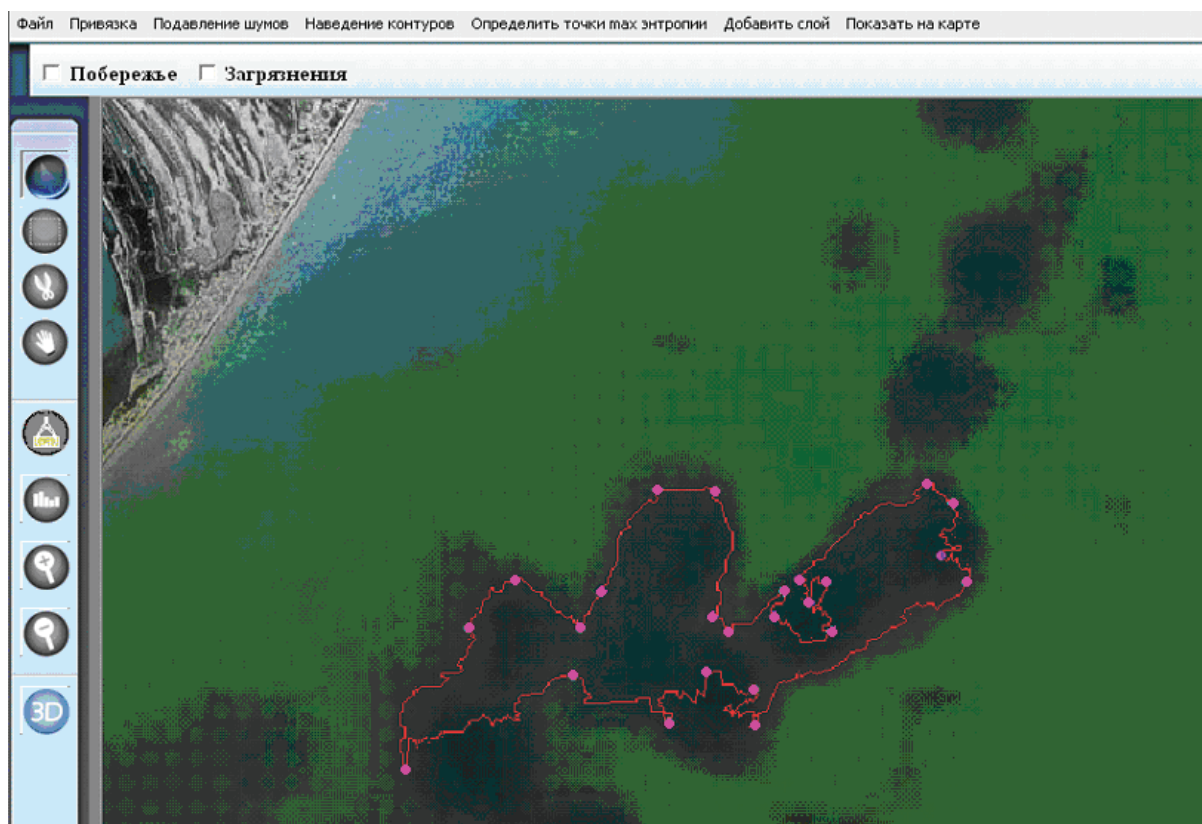


Рис.5.43 - Результат аналізу неоднорідності на наявність точок з максимальною ентропією

При виділенні об'єкту може бути проведений попередній аналіз на наявність точок максимальної ентропії для подальшого часового прогнозу зміни стану аномалій. При визначенні таких точок проводиться сумісний аналіз на основі їх топологічних характеристик і градієнтів яскравості. Результат такого аналізу приведений на рис.5.43.

Масив зберігається в окремий шар. При отриманні наступного знімка даної території по цих точках проводиться контроль стану забруднення.

5.2.4 Блок вимірювання

При натисненні кнопки 6 (рис.5.17) на екрані з'являється вікно вимірювань, що призначено для контролю орієнтації знімка і проведення вимірювань напряму і відстані між двома точками (рис.5.44).

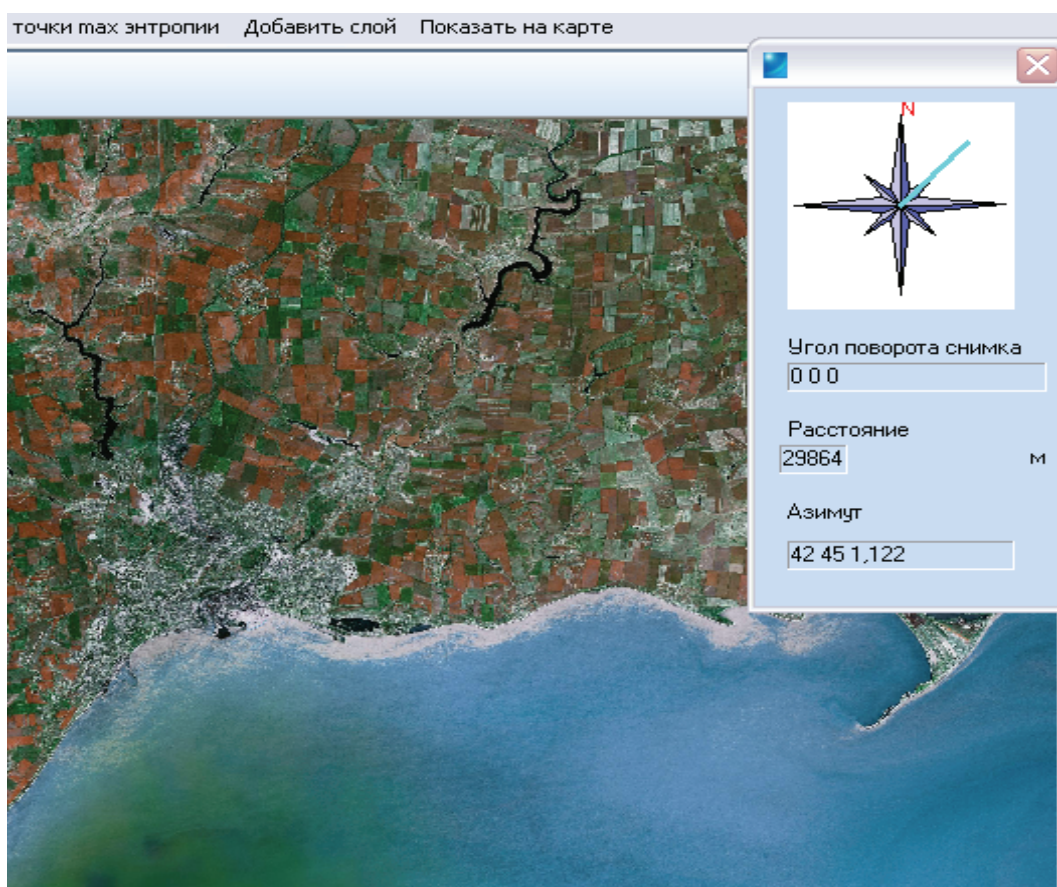


Рис.5.44 - Проведення вимірювань відстані і напряму між двома точками

5.2.5 Блок роботи із зовнішніми векторними даними

Для обліку берегової лінії при фільтрації і проведенні порівняльного аналізу стану забруднень за апіорними даними, що одержані по попередніх знімках, призначеним є блок роботи із зовнішніми векторними даними. На рис.5.45 червоною лінією відображена берегова лінія ділянки .

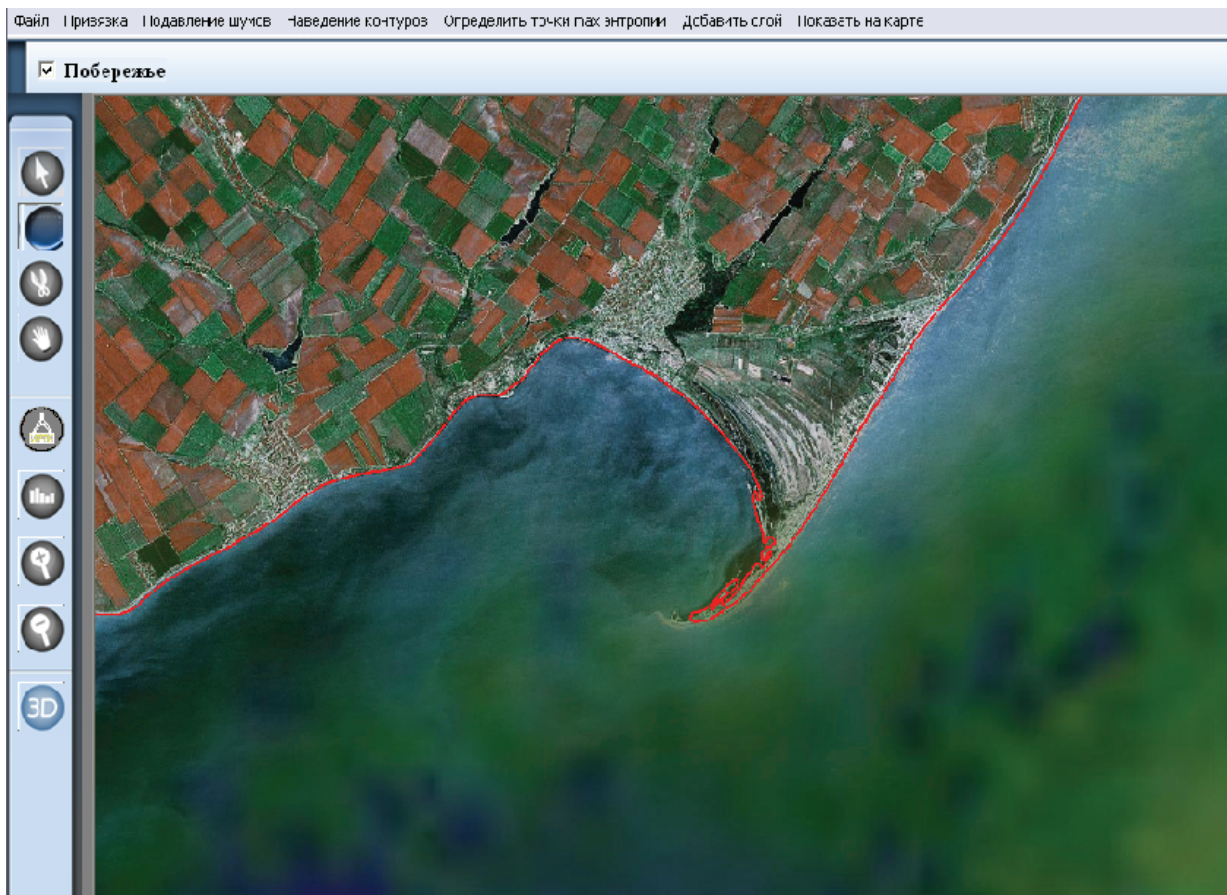


Рис.5.45 - Використання шару для роботи з даними ДЗЗ

При обробці зображення не обробляється ділянка суші, що забезпечує оптимізацію часових витрат.

Лістинг фрагменту програми для роботи з SHP-шарами

```
bool TForm_Osn::SHP(AnsiString filename)
1. {FILE *ff;double BOX[4], ll, bb;int N,*tt, N_ob, k, LEN;
2. int sdv=100;TPoint *poi;ff=fopen(filename.c_str(),"rb");
3. if(ff==NULL) return false; fseek(ff,100l,0);
4. ProgressBar1->Visible=true; int handle=open(filename.c_str(),0);
5. ProgressBar1->Max=filelength(handle); close(handle);
6. while(!feof(ff)) {
7. fseek(ff,12l,1); fread(BOX, sizeof(double),4,ff); sdv+=sizeof(double)*4;
8. fread(&N_ob, sizeof(int), 1, ff); fread(&N, sizeof(int), 1, ff);
9. sdv+=sizeof(int)*2; tt=new int[N_ob]; fread(tt, sizeof(int), N_ob, ff);
10. sdv+=sizeof(int)*N_ob;
11. for(int i=0; i<N_ob; i++) { if(i<N_ob-1)k=tt[i+1]-tt[i];
12. else k=N-tt[i]; if(k<0 || k>N)goto M1;poi=new TPoint[k];
13. for(int j=0; j<k; j++) {
14. fread(&ll, sizeof(double),1,ff); fread(&bb, sizeof(double),1,ff);
15. sdv+=sizeof(double)*2;
16. poi[j].x=(0.5+(bet2*(ll-lam0)-lam2*(bb-bet0))/(lam1*bet2-lam2*bet1));
17. poi[j].y=(0.5+(lam1*(bb-bet0)-bet1*(ll-lam0))/(lam1*bet2-lam2*bet1));
18. ProgressBar1->Position=sdv; ProgressBar1->Repaint(); }
19. Im_Photo->IEBitmap->Canvas->Polygon(poi,k-1); Im_Photo->Repaint();
20. delete []poi; delete []tt; }
21. M1: fclose(ff); ProgressBar1->Visible=false; return true; }
```

5.2.6 Блок відображення знімка на карті узбережжя Чорного моря

У програмі передбачена можливість накладення знімка на заздалегідь підготовлену растрову карту (рис.5.46).



Рис. 5.46 - Накладення знімка на карту Азовського моря

Лістинг фрагменту програми, відображення знимку на растровій карті

```
void __fastcall TForm_Osn::N19Click(TObject *Sender)
1. { int j; char s[500]; AnsiString str1;
2. AnsiString str=WorkDir+"\\RastrMap\\Rastr.bmp";
3. Form_Map->ImageEnView1->IO->LoadFromFile(str);
4. str=str.SubString(1, str.Length()-3)+"prv";
5. j=access(str.c_str(),0);
6. if(j!=-1) { ProgressBar1->Visible=true;
7. ifstream infile1(str.c_str()); infile1.getline(s,500); str1=s;
8. if(DecimalSeparator=='.' || str1.Pos(",")!=0)
9. { str1[str1.Pos(",")] = DecimalSeparator; }
10. if(DecimalSeparator=='.' || str1.Pos(",")!=0)
11. { str1[str1.Pos(",")] = DecimalSeparator; }
12. Form_Map->lam0=StrToFloat(str1);
13. infile1.getline(s,500); str1=s;
14. if(DecimalSeparator=='.' || str1.Pos(",")!=0)
15. { str1[str1.Pos(",")] = DecimalSeparator; }
16. if(DecimalSeparator=='.' || str1.Pos(",")!=0)
17. { str1[str1.Pos(",")] = DecimalSeparator; }
18. Form_Map->lam1=StrToFloat(str1);
19. infile1.getline(s,500); str1=s;
20. if(DecimalSeparator=='.' || str1.Pos(",")!=0)
```

```

21. {str1[str1.Pos(",")]=DecimalSeparator; }
22. if(DecimalSeparator==' ' || str1.Pos(".")!=0)
23. { str1[str1.Pos(".")]=DecimalSeparator; }
24. Form_Map->lam2=StrToFloat(str1);
25. infile1.getline(s,500); str1=s;
26. if(DecimalSeparator=='.' || str1.Pos(",")!=0)
27. { str1[str1.Pos(",")]=DecimalSeparator; }
28. if(DecimalSeparator==' ' || str1.Pos(".")!=0)
29. {str1[str1.Pos(".")]=DecimalSeparator; }
30. Form_Map->bet0=StrToFloat(str1);
31. infile1.getline(s,500); str1=s;
32. if(DecimalSeparator=='.' || str1.Pos(",")!=0)
33. { str1[str1.Pos(",")]=DecimalSeparator; }
34. if(DecimalSeparator==' ' || str1.Pos(".")!=0)
35. { str1[str1.Pos(".")]=DecimalSeparator; }
36. Form_Map->bet1=StrToFloat(str1);
37. infile1.getline(s,500); str1=s;
38. if(DecimalSeparator=='.' || str1.Pos(",")!=0)
39. {str1[str1.Pos(",")]=DecimalSeparator;}
40. if(DecimalSeparator==' ' || str1.Pos(".")!=0)
41. {str1[str1.Pos(".")]=DecimalSeparator;}
42. Form_Map->bet2=StrToFloat(str1); infile1.close();
43. int step_i=3, step_j=3; double ll, bb, X1, Y1, X2, Y2, delX, delY;
44. ll=lam0+lam1*0+lam2*0; bb=bet0+bet1*0+bet2*0;
45. X1=(0.5+(Form_Map->bet2*(ll-Form_Map->lam0)-lam2*(bb-Form_Map->bet0)))/
46. (Form_Map->lam1*Form_Map->bet2-Form_Map->lam2*Form_Map->bet1));
47. Y1=(0.5+(Form_Map->lam1*(bb-Form_Map->bet0)-Form_Map->bet1*(ll-Form_Map-
->lam0)))/
48. (Form_Map->lam1*Form_Map->bet2-Form_Map->lam2*Form_Map->bet1));
49. ll=lam0+lam1*Im_Photo->IEBitmap->Width+lam2*Im_Photo->IEBitmap->Height;
50. bb=bet0+bet1*Im_Photo->IEBitmap->Width+bet2*Im_Photo->IEBitmap->Height;
51. X2=(0.5+(Form_Map->bet2*(ll-Form_Map->lam0)-lam2*(bb-Form_Map->bet0)))/
52. (Form_Map->lam1*Form_Map->bet2-Form_Map->lam2*Form_Map->bet1));
53. Y2=(0.5+(Form_Map->lam1*(bb-Form_Map->bet0)-Form_Map->bet1*(ll-Form_Map-
->lam0)))/
54. (Form_Map->lam1*Form_Map->bet2-Form_Map->lam2*Form_Map->bet1));
55. delX=fabs(X2-X1); delY=fabs(Y2-Y1);
56. step_i=Im_Photo->IEBitmap->Width/delX;
57. step_j=Im_Photo->IEBitmap->Height/delY;
58. ProgressBar1->Max=Im_Photo->IEBitmap->Width;
59. for(int i=0; i<Im_Photo->IEBitmap->Width; i+=step_i)
60. { ProgressBar1->Position=i; ProgressBar1->Repaint();
61. for(j=0; j<Im_Photo->IEBitmap->Height; j+=step_j) {
62. TColor col=Im_Photo->IEBitmap->Canvas->Pixels[i][j];
63. ll=lam0+lam1*i+lam2*j; bb=bet0+bet1*i+bet2*j;
64. X1=(0.5+(Form_Map->bet2*(ll-Form_Map->lam0)-lam2*(bb-Form_Map->bet0)))/
65. (Form_Map->lam1*Form_Map->bet2-Form_Map->lam2*Form_Map->bet1));
66. Y1=(0.5+(Form_Map->lam1*(bb-Form_Map->bet0)-Form_Map->bet1*(ll-Form_Map-
->lam0)))/
67. (Form_Map->lam1*Form_Map->bet2-Form_Map->lam2*Form_Map->bet1));
68. Form_Map->ImageEnView1->IEBitmap->Canvas->Pixels[X1][Y1]=col; } }
69. ProgressBar1->Visible=false;Form_Map->ImageEnView1->Repaint();
70. Form_Map->Show();} }

```


РОЗДІЛ 6

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАБРУДНЕНЬ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ ДЕШИФРУВАЛЬНИХ ОЗНАК

6.1 Математична модель форми об'єкта

Однією з основних задач при створенні ефективної системи моніторингу морських акваторій є створення алгоритму класифікації забруднень в автоматичному режимі. Для вирішення поставленої задачі недостатньо використовувати тільки природні дешифрувальні ознаки, тому що вони не формалізовані. Необхідним етапом автоматизації процесу класифікації є створення штучних дешифрувальних ознак, які містять у собі розпізнавальну інформацію досліджуваних об'єктів.

Для вирішення задачі екологічного моніторингу морських акваторій можуть використовуватись дані ДЗЗ оптичного та ближнього ІЧ діапазону низької, середньої й високої розрізненості. У той же час кольорові характеристики морської поверхні нестійкі, тому необхідно досліджувати інформативність структурних ознак, зокрема, форм плям забруднень. Для математичного опису форми об'єкта застосовується метод побудови її математичної моделі [62].

Дані ДЗЗ представлені у вигляді растрових зображень і результати обробки залежать від роздільної здатності знімків, тому доцільно використовувати векторне представлення аналізованих характеристик. Векторна графіка представляє зображення сукупністю кривих, положення яких на рисунку описується координатами або математичними формулами і у порівнянні з растровою, має ряд переваг: компактний опис векторного зображення, необмежене масштабування, можливість імпорту й експорту даних у ГІС, можливість використання методів, розроблених для обробки одномірних і двовимірних сигналів.

Для створення математичної моделі форми об'єкта аналізована ділянка, представлена у вигляді растрових даних ДЗЗ, перетворюється у векторний формат.

Існує три способи векторизації: ручний, інтерактивний й автоматичний [63]. Для автоматичної векторизації растрового зображення розроблені професійні растрово-векторні графічні редактори, що дозволяють здійснити повний комплекс робіт з растровими монохромними, напівтоновими й кольоровими зображеннями (відсканованими кресленнями, картами, схемами та іншими графічними матеріалами). Однак відомі графічні редактори мають наступні недоліки: при обробці складних фігур виникають помилки векторизації, такі, як незамкнутий контур; графічні пакети орієнтовані на участь оператора в процесі обробки зображень.

За наявності великого потоку зображень (даних ДЗЗ) необхідно виконувати векторизацію контурів ділянок без участі оператора, що вимагає розробки спеціалізованих алгоритмів обробки зображень.

Обов'язковою умовою порівняльного аналізу являється зіставлення порівнюваних показників, що обумовлює єдність структурних показників і методики обчислення. Для порівняльного аналізу форм плям, а також для визначення подібності між їхніми контурами досліджувані дані необхідно привести до єдиного масштабу. На основі інформації про параметри векторного зображення (довжини і координат векторів, кутів між ними) виконується їхнє нормування, щоб площі всіх досліджуваних фігур, обмежених контурами, дорівнювали одиниці. Подальше дослідження контурів ґрунтується на використанні нормованих величин.

6.1. 1 Розробка алгоритму векторизації контурів виділених ділянок

Для векторизації контуру забруднення морських акваторій у якості вихідних даних використовуються зображення, на яких виділені аномальні ділянки морської поверхні [6]. При цьому піксели забруднення кодуються як $\xi(x_{iz}, y_{jz}) = 1$, а фон як $\xi(x_{if}, y_{jf}) = 0$.

Вирішення задачі векторизації припускає виконання етапів, які проілюстровані на рис.6.1 [64]:

- пошук області оконтурювання;
- визначення стартової точки контуру;
- вибір напрямку оконтурювання;
- визначення всіх точок контуру;
- збереження результату.

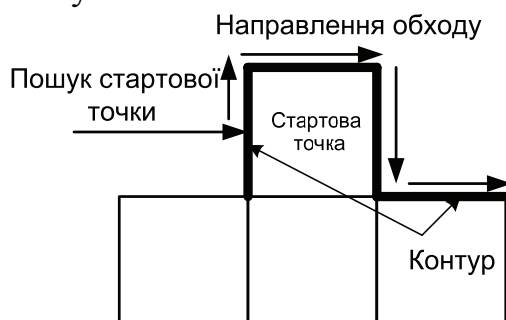


Рис.6.1 – Принцип роботи алгоритму векторизації контуру

Для точної передачі контуру можна використовувати метод покрокового оконтурювання виділеної області в заданому напрямку. Для реалізації методу використовується обхід однорідних областей по периметру, при цьому контур слідує по границі між колірними перепадами.

6.1.2 Векторизація контуру

Визначення всіх точок контуру полягає в обході контуру по вузлах віртуальної решітки $\{x, y\}$, утвореної границями між кодованими растровими точками (0 й 1). Координати вузлів решітки відрізняються від координат точок виділеної ділянки на один піксель. Кожна точка контуру кодується як $\xi(x_i, y_j) = 2$, що виключає з подальшого розгляду оброблену ділянку.

Структурна схема алгоритму визначення точок контуру наведена на рис. 6.2.
 Обхід контуру завершується при виконанні умови:

$$\{x_0, y_0\} = \{x_{end}, y_{end}\},$$

де x_0, y_0 – координати першої точки контуру, x_{end}, y_{end} – координати останньої точки контуру.

Точки перегинів векторизованого контуру $\{x, y\}$ (рис. 6.3) зберігаються у файл, що дозволяє в подальших дослідженнях використовувати тільки контур ділянки, що цікавить, без розгляду космічного знімка.

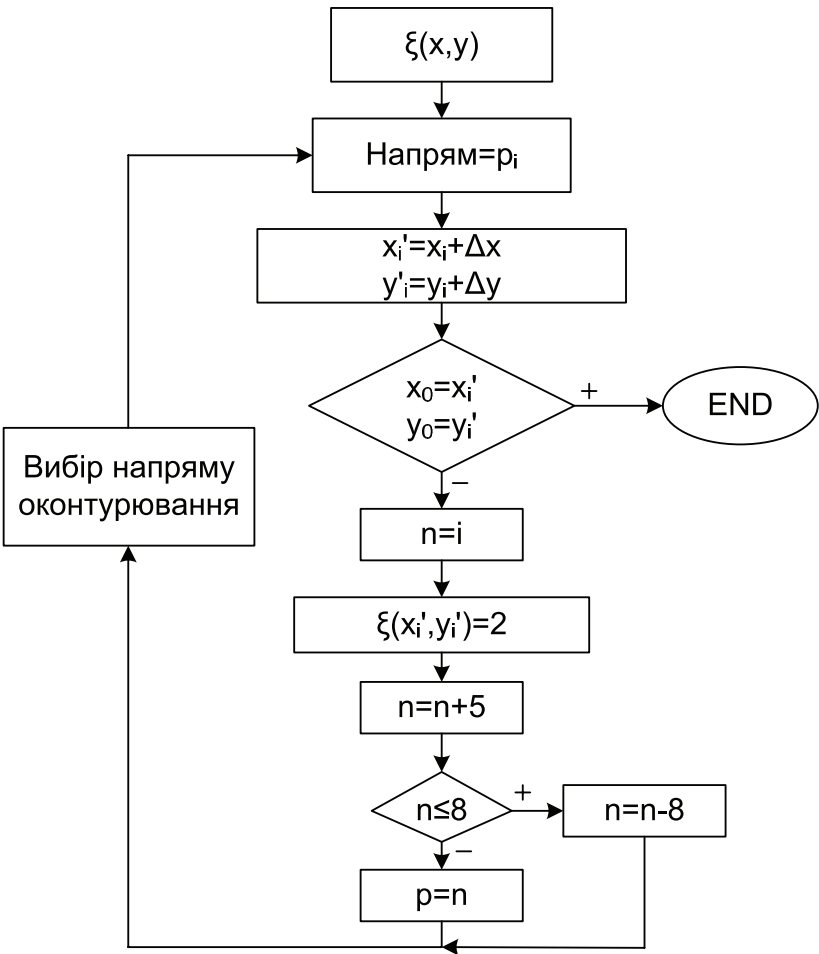


Рис.6.2 – Алгоритм визначення точок контуру

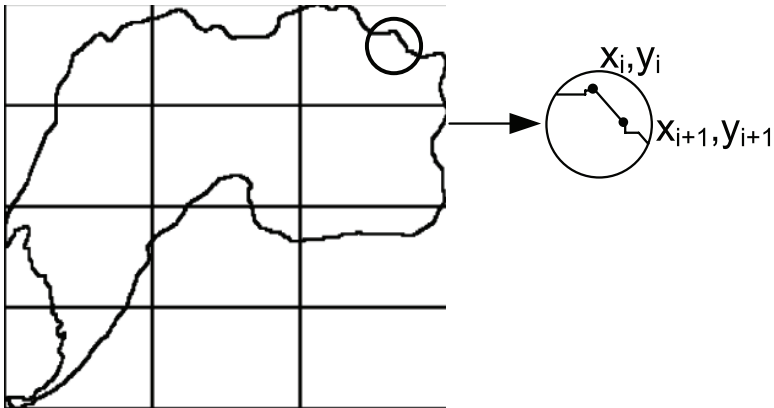


Рис. 6.3 – Подання координат контуру

Алгоритм векторизації контурів виділених ділянок використовується для автоматичного перетворення отриманих фрагментів растрових зображень у векторні зображення.

На рис.6.4 представлений загальний алгоритм, що реалізує етапи векторизації контуру виділеної ділянки.

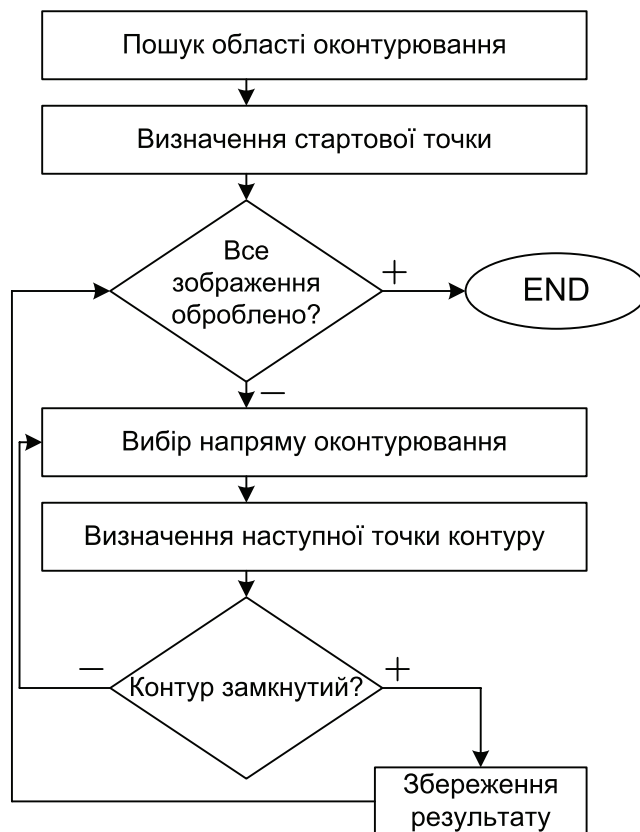


Рис.6.4 – Алгоритм векторизації виділеної плями

Використання даного алгоритму дозволяє векторизувати як довільні контури, так і об'єкти строгої геометричної форми. Перевагою методу є автоматична (без участі оператора) побудова контуру, його висока точність і замкнутість контурів.

Приклади застосування розробленого алгоритму представлені на рис. 6.5 – 6.7. На рис. 6.5 (а) наведений знімок, отриманий з космічного апарата Landsat, де яскраві ділянки морської поверхні, що прилягають до берега, свідчать про наявність абразії берега. Результат застосування алгоритму виділення аномальної ділянки на морській поверхні показаний на рис.6.5 (б). На рис. 6.5 (в) наведений контур досліджуваної ділянки, отриманий у процесі обробки знімка по описаному алгоритму.

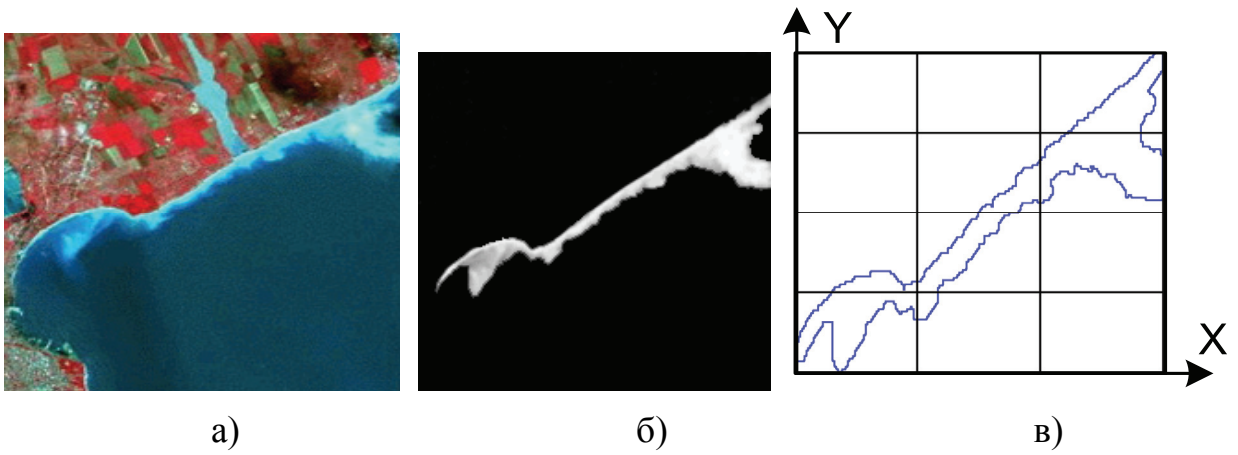


Рис.6.5 – Вихідний знімок (а), виділена ділянка абразії берега (б) і її контур (в)

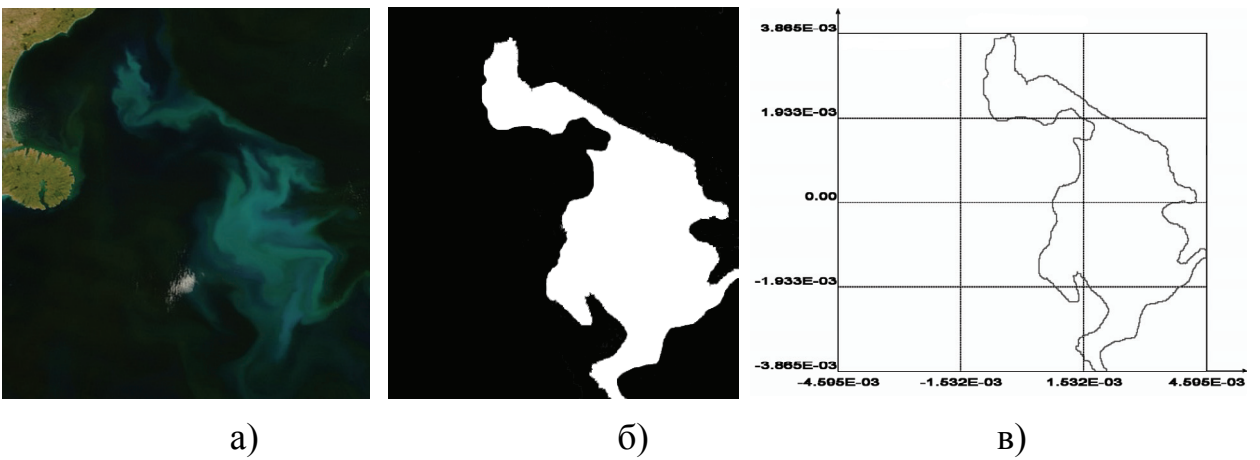


Рис.6.6 – Вихідний знімок (а), виділена ділянка цвітіння води (б) і її контур (в)

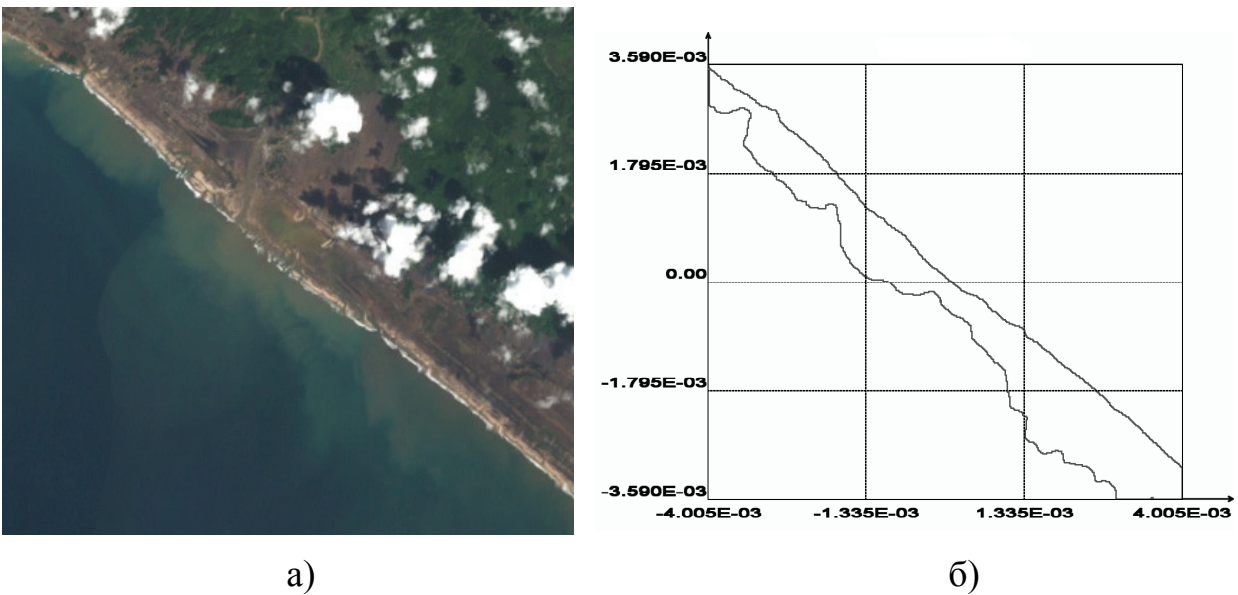


Рис.6.7 – Вихідний знімок (а) і контур аномальної ділянки (б)

6.2. Алгоритм створення математичної моделі контуру виділеної ділянки

Алгоритм векторизації контурів виділених ділянок дозволяє одержати векторне подання контуру, сформоване координатами точок перегинів $\{x_i, y_i\}$, $i=1, N$. Для дослідження інформативності форми контуру забруднення ця ознака формалізується, при цьому створюється штучна дешифрувальна ознака на основі природної – форми досліджуваної ділянки. Для подальших досліджень контур виділеної ділянки представляється у вигляді залежності $V(\theta_i)$, $i=1, N$, де V_i – довжина вектора від початку координат до точки перегину контуру, θ_i – кут між віссю абсцис і відповідним вектором V_i (див. рис. 6.8).

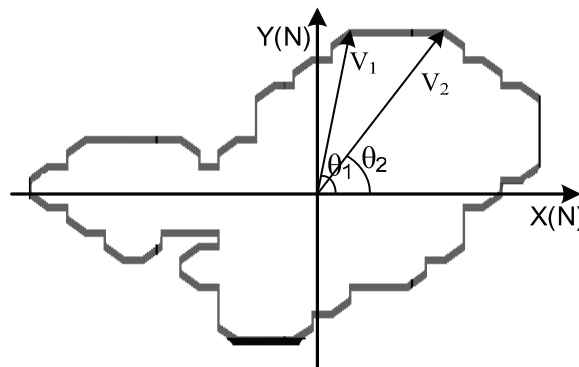


Рис. 6.8 – Розглянуті залежності контуру фігури

Для визначення залежності $V(\theta_i)$ знаходиться центр системи координат $O(x_0, y_0)$, що обумовлює необхідність розрахунку площі досліджуваної фігури.

Створення математичної моделі виконується на основі перетворення контуру досліджуваної фігури в розгортку $V(\theta_i)$ з наступною її апроксимацією для найбільш компактного опису. Загальний алгоритм створення математичної моделі контуру об'єкта представлений на рис.6.9. Вихідними даними для роботи алгоритму є контур виділеної аномальної плями, представлений у векторному форматі (див. п. 6.1.2).

6.2.1 Представлення контуру у вигляді розгортки

Вихідними даними для створення розгортки, що відображає характеристики аномалії на поверхні моря, є виділений контур, описаний координатами точок перегинів $\{x, y\}$. На рис.6.10 представлена фігура, описана цими координатами.

Для створення математичної моделі контур, описаний залежністю $V(\theta)$, представляється у вигляді розгортки, що дозволяє застосовувати до

отриманих даних методи статистичної обробки сигналів і найбільш компактно описувати контур фігури. По вхідних параметрах x_i і y_i будується залежність, де по вертикалі відкладаються довжини векторів V_i , а по горизонталі – кути $|\Delta\theta_i|$ між сусідніми векторами.

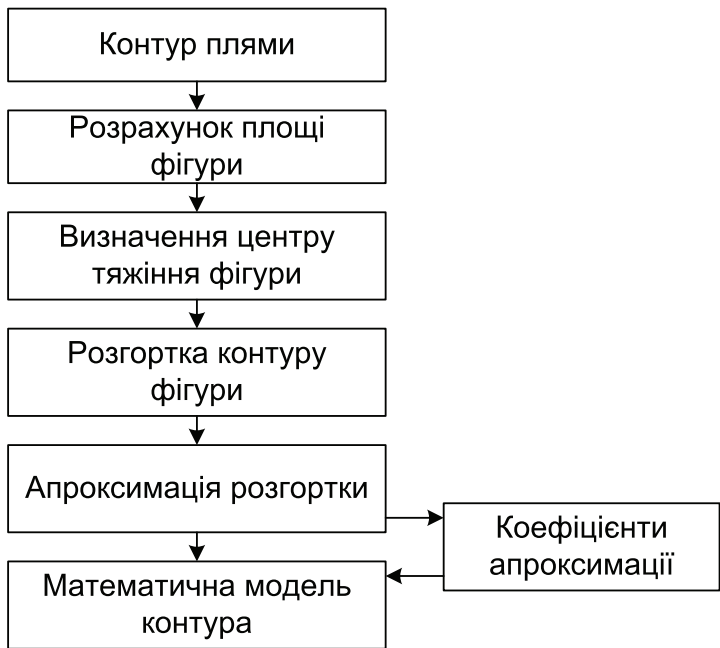


Рис.6.9 – Алгоритм створення математичної моделі контуру фігури

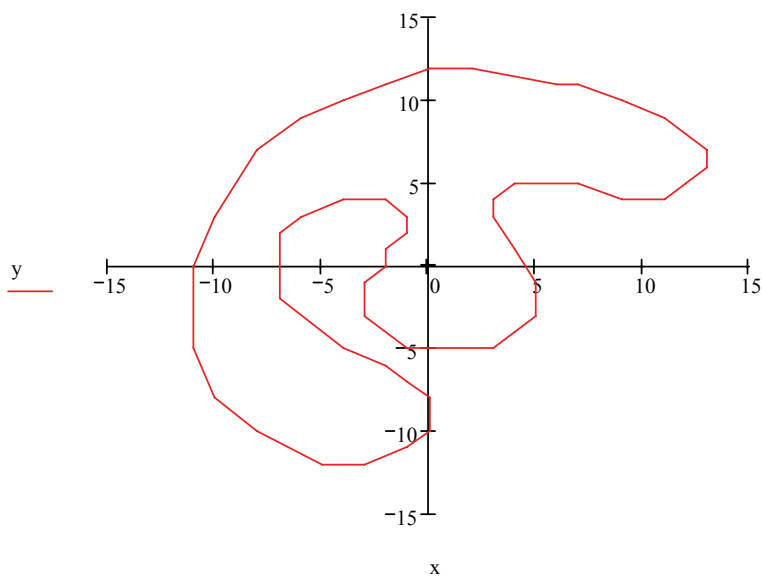


Рис.6.10 – Контур фігури

Залежність $V(\theta)$ представляється в комплексному вигляді (див. рис. 6.11):

$$\dot{V}(\theta) = |\dot{V}(\theta)| \cdot e^{j\theta} = \text{Re}[\dot{V}(\theta)] + j \cdot \text{Im}[\dot{V}(\theta)]. \tag{6.1}$$

Представлені на рис.6.11 залежності не мають зламів у вигляді різких перепадів значень, що підвищує можливість їхньої точної апроксимації.

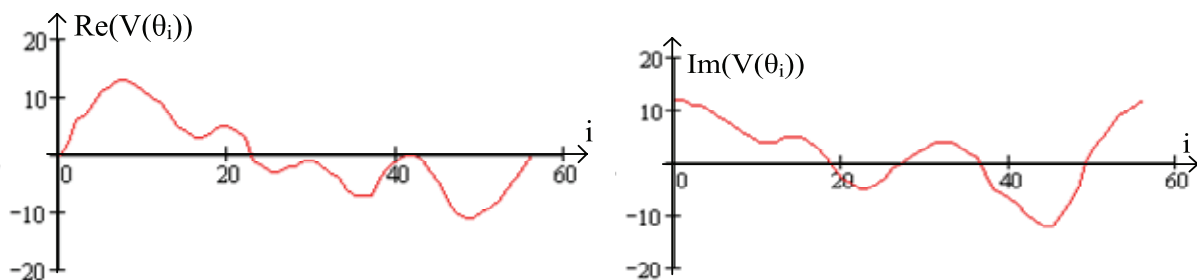


Рис.6.11 – Представлення $V(\theta)$ в комплексному вигляді

Оскільки величина $\Delta\theta_i$ змінюється нерівномірно, доцільно для опису контуру з застосуванням комплексного представлення $\dot{V}(\theta)$ використовувати параметричну модель контуру у вигляді:

$$\dot{V}(\theta(\alpha)) = V(\theta(\alpha)) \cdot e^{j\theta(\alpha)}, \quad (6.2)$$

$$V(\theta(\alpha)) = \sqrt{\text{Re}^2[\dot{V}(\theta(\alpha))] + \text{Im}^2[\dot{V}(\theta(\alpha))]}, \quad (6.3)$$

$$\theta(\alpha) = \arctg \frac{\text{Im}(\dot{V}(\alpha))}{\text{Re}(\dot{V}(\alpha))}, \quad (6.4)$$

де α – віртуальний параметр із рівномірним збільшенням, $\alpha \in [0..1]$.

Змінюючи параметр моделі α і використовуючи запропоновану параметричну модель відновлюється первісний вид контуру, представленого на рис.6.10, як показано на рис.6.12.

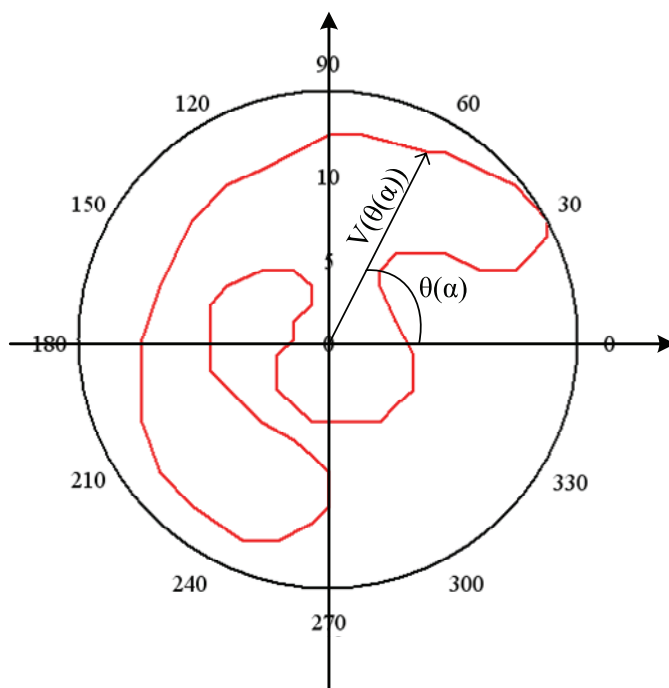


Рис.6.12 – Представлення контуру у вигляді $V(\theta(\alpha))$

Представлення форми контуру у вигляді (6.1) дозволяє роздільно проводити апроксимацію залежностей $\text{Re}[V(\alpha)]$ й $\text{Im}[V(\alpha)]$, по яких значення

функції $V(\theta)$ можуть бути відновлені згідно з 6.3, 6.4. Запропонована параметрична модель дозволяє апроксимувати досліджуваний контур одним з відомих методів [65].

6.2.2 Апроксимація виділеного контуру

При виборі методу апроксимації варто виходити з конкретної задачі дослідження. У цьому випадку важливо вловити загальну закономірність даних, описуваних математично із прийнятною точністю за умови більш компактного вигляду.

Для вирішення поставлених задач розгортки $\text{Re}(\dot{V}(\theta(\alpha)))$ і $\text{Im}(\dot{V}(\theta(\alpha)))$, представлені відповідно до (6.3), апроксимуються одним з відомих методів [66]. Кінцева мета поставленої задачі – визначення коефіцієнтів апроксимації для опису виділеного контуру. Найбільш часто для апроксимації даних використовуються ортогональні й поліноміальні функції.

Значення $\text{Re}(\dot{V}(\theta(\alpha)))$ і $\text{Im}(\dot{V}(\theta(\alpha)))$ є випадковими, тому найбільш прийнятним для апроксимації є метод найменших квадратів. Цей метод використовується для апроксимації всіх досліджуваних контурів, що дозволяє функції, що апроксимуються, представити у вигляді полінома K -ого ступеня, $K \ll N$.

Для дослідження погрішності апроксимації для кожного контуру необхідно розрахувати коефіцієнти відхилень L , визначені у відсотках. Для розрахунку коефіцієнта L розраховувалася площа еталонної фігури, а також визначалися площі ділянок S_{Li} , що відрізняються від еталонного контуру.

Для порівняльного аналізу всі досліджувані фігури приводяться до єдиного масштабу, при цьому їхні площі рівні 1. Площа еталонної фігури, що використовується для розрахунку коефіцієнтів відхилень, також дорівнює 1.

У результаті проведеного аналізу визначилось, що ступені апроксимуючого полінома не перевищують $P = 20$, тому для зберігання в базі даних всіх контурів прийнятий максимальний ступінь апроксимації $P = 20$. Для контурів зі ступенем апроксимації, менше 20, коефіцієнти старших ступенів прирівнюються 0.

Основні переваги запропонованої математичної моделі контуру виділеної плями полягають у наступному:

- можливість векторного представлення контурів довільної форми, а також їхнє нормування;
- компактність опису досліджуваних контурів;
- можливість застосування методів статистичної обробки сигналів до досліджуваних контурів.

6.3 Вибір ознаки розпізнавання

Необхідний етап процесу класифікації – визначення вектора ознак, які дають можливість виділити характерні відмінності досліджуваних контурів.

В п.6.2.2 було запропоновано описувати контури забруднень у вигляді поліномів 20-го ступеня, що дає можливість для порівняння різних контурів між собою використовувати взаємну кореляційну функцію між математичними моделями контурів різних типів.

6.3.1 Взаємна кореляційна функція контурів об'єктів

У теорії сигналів взаємна кореляційна функція (ВКФ) $R_{xy}(\tau)$ характеризує взаємозв'язок двох центрованих процесів $x(t)$ і $y(t)$ у різні моменти часу t й $t+\tau$ [66]:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (x(t) - m_x)(y(t + \tau) - m_y) dt. \quad (6.5)$$

Точка максимуму кореляційної функції вказує на величину тимчасового зсуву τ , при якому функції $x(t)$ і $y(t)$ найбільш «схожі» одна на одну.

Для вирішення задачі порівняння двох контурів пропонується використовувати взаємну кореляційну функцію для контурів різних забруднень:

$$R_{mn}(q) = \int_0^{2\pi} (\dot{V}_m(\theta))(\dot{V}_n^*(\theta + q)) d\theta, \quad (6.6)$$

де m й n – номери відповідних досліджуваних контурів;

$\dot{V}_m(\theta)$, $\dot{V}_n(\theta)$ – математичні моделі m -го й n -го контурів;

θ – кути між векторами;

q – збільшення параметра θ .

Взаємна кореляційна функція у даному випадку розраховується по алгоритму, який базується на використанні теореми Вінера-Хінчина, і складається з наступних етапів [67]:

а) формування комплексного представлення розгортки контурів:

$$\dot{V}_m(\theta) = \text{Re}(\dot{V}_m(\theta)) + j \text{Im}(\dot{V}_m(\theta)), \quad (6.7)$$

$$\dot{V}_n(\theta) = \text{Re}(\dot{V}_n(\theta)) + j \text{Im}(\dot{V}_n(\theta));$$

б) обчислення спектра розгортки фігури:

$$\dot{G}_m(\omega) = \int_{\theta=0}^{2\pi} \dot{V}_m(\theta) \cdot e^{j2\pi\omega\theta} d\theta, \quad (6.8)$$

$$\dot{G}_n(\omega) = \int_{\theta=0}^{2\pi} \dot{V}_n(\theta) \cdot e^{j2\pi\omega\theta} d\theta;$$

де ω – частота флуктуацій $V(\theta)$,

в) визначення енергетичного спектра (спектр потужності) по контурах m і n :

$$F_{mn}(\omega) = \dot{G}_m \cdot \dot{G}_n^*; \quad (6.9)$$

г) зворотне перетворення Фур'є від енергетичного спектра F_{mn} :

$$U_{mn}(q) = \frac{1}{N} \cdot \int_{\omega=1}^N F_{mn}(\omega) \cdot e^{-j2\pi\omega q} d\omega; \quad (6.10)$$

д) обчислення максимального значення коефіцієнта кореляції між розгортками m й n :

$$R_{mn} = \max_q \left(\frac{\text{Re}(U_{mn})}{\sqrt{\sigma_m \cdot \sigma_n}} \right), \quad (6.11)$$

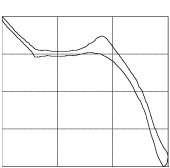
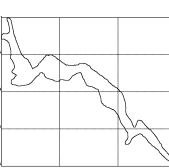
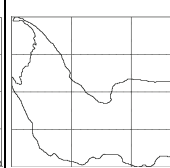
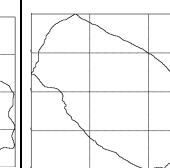
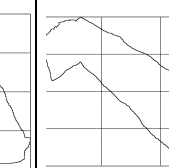
де σ_m, σ_n – СКВ досліджуваних розгорнень.

Результати обчислення коефіцієнтів взаємних кореляційних функцій для ряду об'єктів представлені в табл.6.1.

Аналіз табл.6.1 показує, що однотипні забруднення мають високі значення коефіцієнтів взаємної кореляції їхніх контурів. Для забруднень різного походження спостерігаються знижені значення взаємних коефіцієнтів кореляції контурів; це показує, що ступінь взаємної кореляції між контурами служить інформативною ознакою для розпізнавання. У той же час для деяких видів забруднень, наприклад, річковий стік, також спостерігаються високі значення коефіцієнтів взаємної кореляції із забрудненнями інших типів (наприклад, з береговим стоком).

З метою подальшого пошуку інформативних ознак забруднень морських акваторій необхідно виконати аналіз автокореляційних функцій (АКФ) контурів аномальних явищ.

Таблиця 6.1 – Коефіцієнти кореляції між контурами забруднень

Види забруднень					
Абразія берега 1	1	0,95	0,47	0,39	0,53
Абразія берега 2		1	0,39	0,28	0,45
Річковий стік 1			1	0,70	0,82
Річковий стік 2				1	0,84
Береговий стік					1

6.3.2 Автокореляційна функція контурів забруднень

У теорії сигналів автокореляційна функція (АКФ) $R_x(\tau)$ служить мірою кореляції між відліками послідовності тимчасових відліків $x(t)$ [66]:

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (x(t) - m_x)(x(t + \tau) - m_x) dt, \tag{6.12}$$

де m_x - математичне очікування безперервного випадкового процесу $x(t)$.

З врахуванням (6.12) автокореляційні функції математичних моделей контурів забруднень визначаються як

$$R(q) = \text{Re} \left(\int (\dot{V}(\theta) \cdot \dot{V}(\theta + q)) dq \right),$$

де q - збільшення параметра θ .

Функція $R(q)$ характеризує залежність контуру при фіксованому куті θ від його значення для попередніх кутів. АКФ завжди дійсна, парна функція часу з максимумом у точці $q = 0$, у якій вона дорівнює дисперсії процесу:

$$R(0) = \sigma^2.$$

На рис. 6.13, 6.14 представлені деякі досліджувані фігури і їх автокореляційні функції.

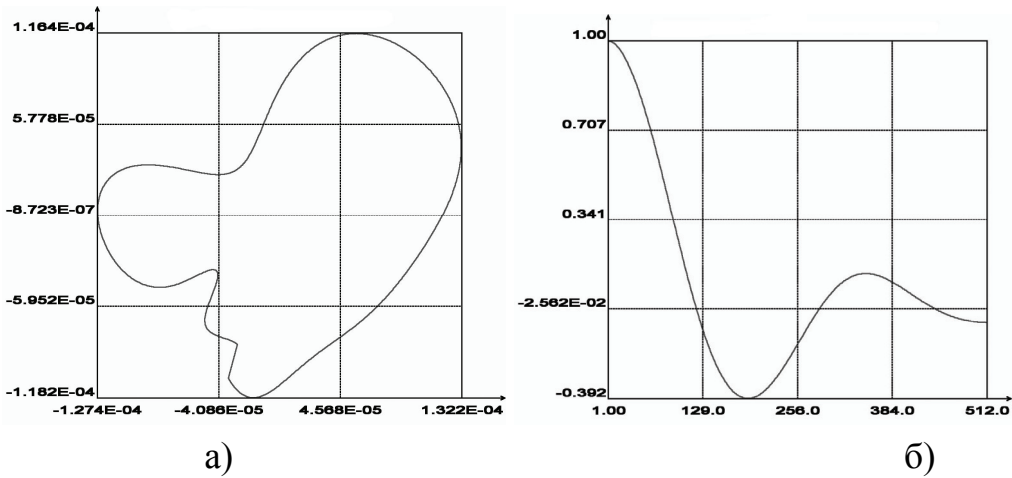


Рис.6.13 – Досліджуваний контур (а) і автокореляційна функція його розгортки (б)

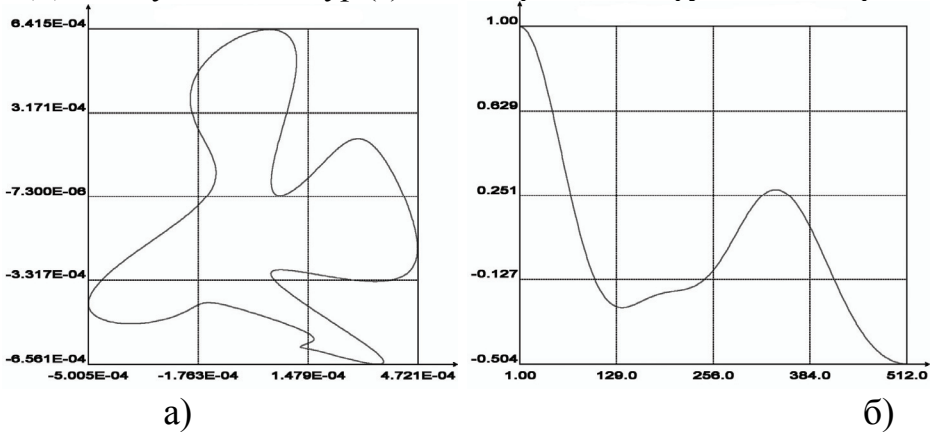


Рис.6.14 – Досліджуваний контур (а) і автокореляційна функція його розгортки (б)

Аналіз рисунків показує, що автокореляційна функція контурів забруднень відповідає квазіперіодичній функції. У роботах [68] було запропоновано порівнювати контур об'єктів з набором еталонних фігур. Доцільно підібрати такий набір еталонів, який би також мав періодичні автокореляційні функції, тобто за своїми кореляційними властивостями був подібний до досліджуваних контурів.

На рис. 6.15 - 6.17 представлені АКФ правильних геометричних фігур, АКФ яких структурно подібні АКФ розгортки контурів реальних забруднень. Це дозволяє припустити, що оцінки коефіцієнтів взаємної кореляції досліджуваних контурів з різними геометричними фігурами являються інформативними ознаками для розпізнавання типів забруднень [69].

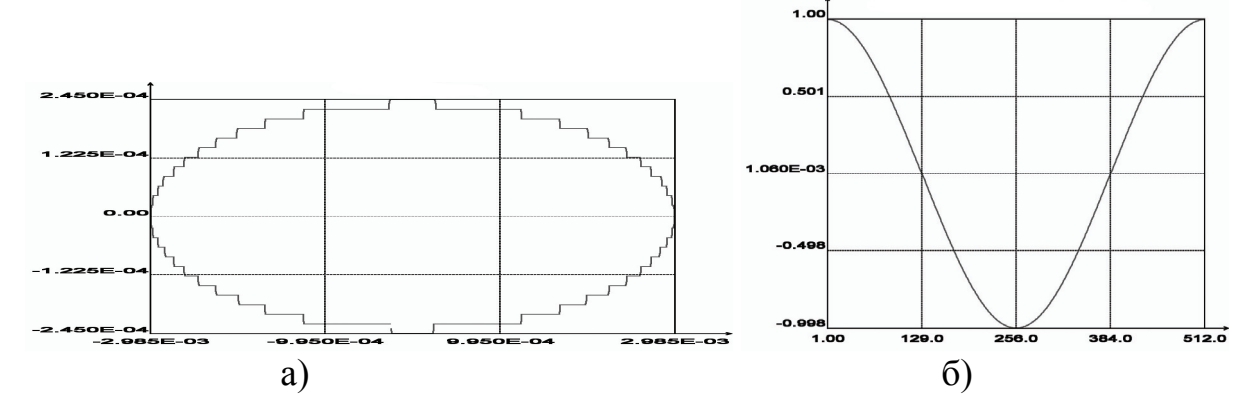


Рис.6.15 – Еліпс (а) і автокореляційна функція його розгортки (б)

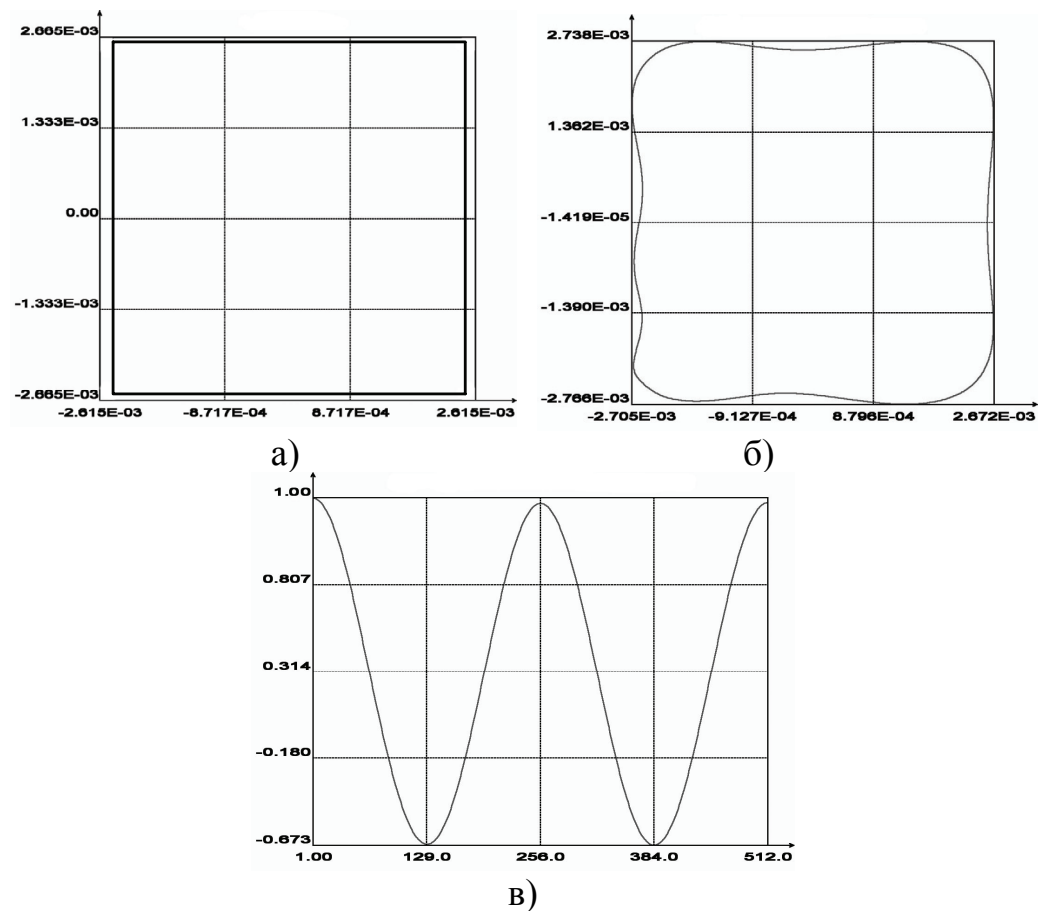


Рис.6.16 – Квадрат (а), апроксимована фігура (б) і автокореляційна функція його розгортки (в)

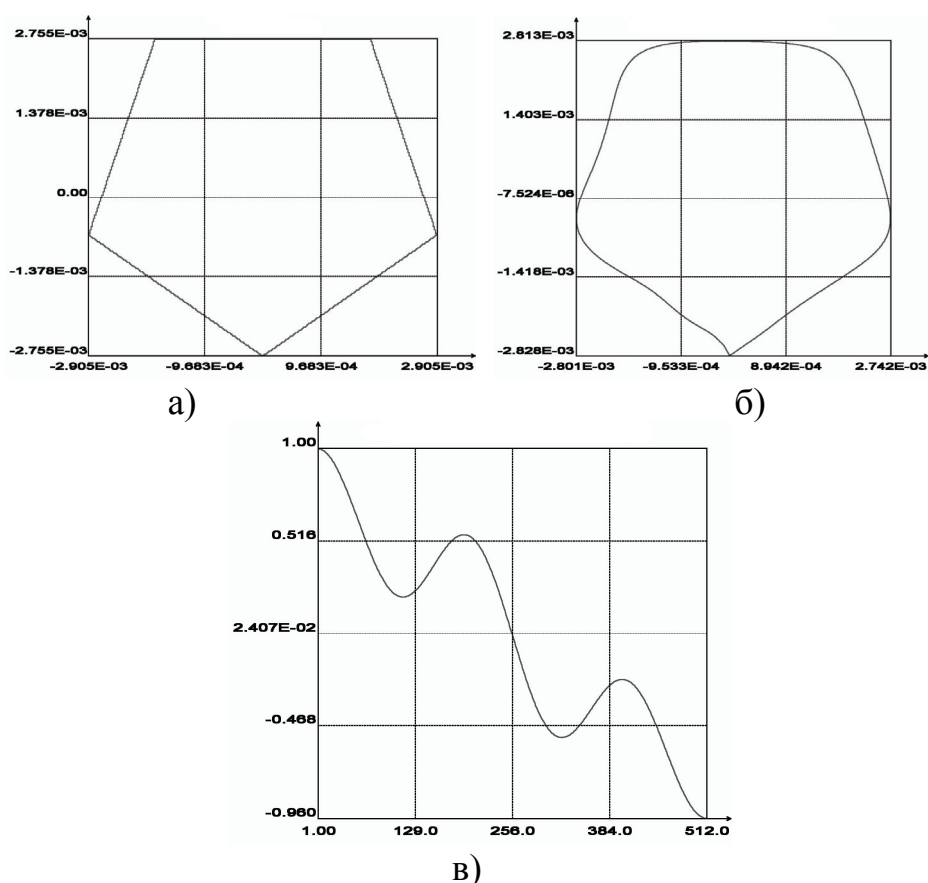


Рис.6.17 – П'ятикутник (а), апроксимована фігура (б) і автокореляційна функція його розгортки (в)

6.3.3 Визначення ознакового простору

Дослідження АКФ контурів різних геометричних фігур дало можливість запропонувати тестові фігури, представлені на рис. 6.18.

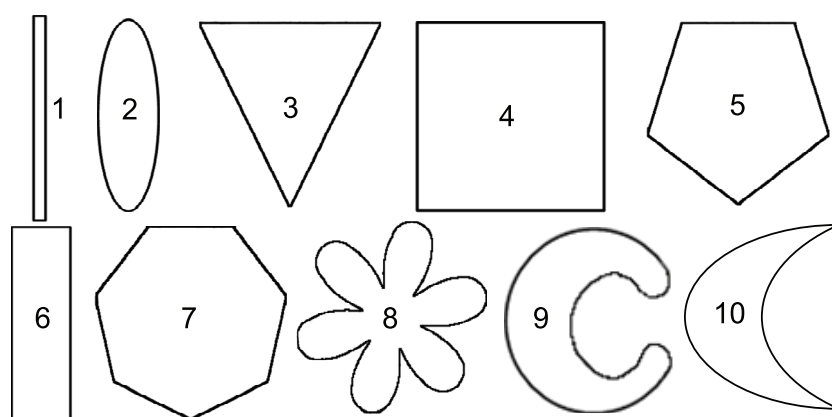
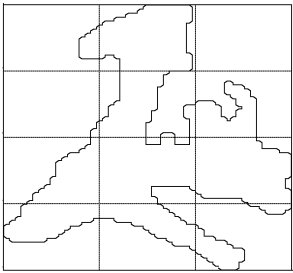
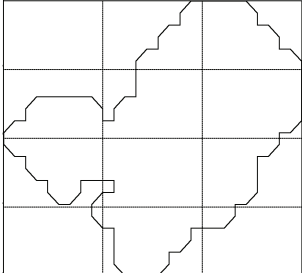
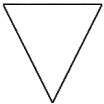
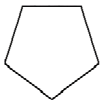
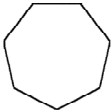


Рис. 6.18 – Набір тестових фігур, що пропонується для аналізу

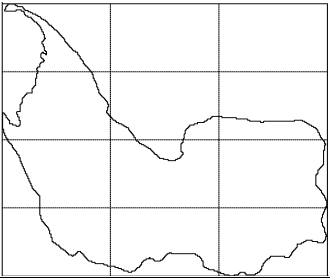
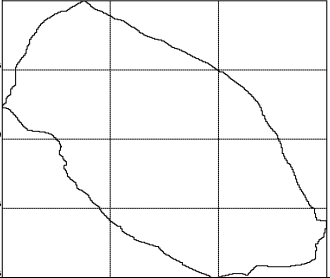
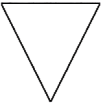
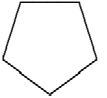
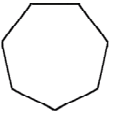
Тестова фігура №1 - витягнутий прямокутник, використовується в роботах [68, 70] при вирішенні задачі виявлення нафтових забруднень.

Тестові фігури №2 - №7 - правильні геометричні фігури, що мають періодичність автокореляційної функції з різною кількістю піків й їхнім розташуванням (тестові фігури №4 й №6).

Таблиця 6.2 – Коефіцієнти кореляції між контурами забруднень і тестових фігур

	«Цвітіння» фітопланктону	
Тестова фігура		
	0,25	0,37
	0,27	0,57
	0,62	0,70
	0,24	0,18
	0,55	0,54
	0,26	0,40
	0,49	0,37
	0,38	0,43
	0,24	0,38
	0,25	0,27

Таблиця 6.3 – Коефіцієнти кореляції між контурами забруднень і тестових фігур

Тестова фігура	Річковий стік	
		
	0,32	0,24
	0,18	0,69
	0,27	0,35
	0,76	0,66
	0,70	0,67
	0,40	0,37
	0,21	0,32
	0,12	0,22
	0,28	0,35
	0,18	0,24

Оскільки контури реальних забруднень мають порізаний характер, набір тестових фігур був доповнений фігурою №8, а фігури №9 й №10 були включені в тестовий набір у силу того, що багато реальних контурів є ввігнутими.

На основі аналізу кореляційних функцій, проведеного у п.6.3.1, 6.3.2, пропонується як структурну ознаку забруднення застосовувати значення максимуму взаємної кореляційної функції між контуром забруднення й контуром тестової фігури, що може бути визначено як

$$\xi_t(z) = \max_q \operatorname{Re} \left[\int_0^{2\pi} (\dot{V}_z(\theta)) (\dot{V}_t(\theta + q)) d\theta \right], \quad (6.13)$$

де $\dot{V}_z(\theta)$ – математична модель контуру z-го забруднення,

$\dot{V}_t(\theta)$ – математична модель контуру t-ої тестової фігури

З врахуванням відібраних для подальшого аналізу 10 тестових фігур значення ознак (6.13) утворюють векторний ознаковий простір:

$$\vec{\xi}_z = \{\xi_1(z), \xi_2(z), \dots, \xi_{10}(z)\}, \quad (6.14)$$

де $\xi_i(z)$ – максимальне значення кореляційної функції, розрахованої між i-м й z-м контурами;

z – номер забруднення,

$V_i(\theta)$ – математична модель i-ї тестової фігури.

Векторний простір $\vec{\xi}$ є інваріантним щодо кутів поворотів θ , які визначають $V(\theta)$, оскільки використовується максимальне значення взаємної кореляційної функції.

Як приклад, у табл.6.2, 6.3 представлені результати розрахунку коефіцієнтів взаємної кореляції між тестовими фігурами й двома типами забруднень.

Аналіз результатів розрахунку показує, що забруднення одного типу мають близькі значення коефіцієнтів кореляції з тестовими фігурами, у той час як для різних типів забруднень величини коефіцієнтів кореляції з відповідними тестовими фігурами істотно відрізняються, що підтверджує гіпотезу про інформативність запропонованої системи ознак. У той же час для побудови алгоритмів розпізнавання по даних ознаках потрібно виконати зниження розмірності ознакового простору, а також визначити вирішальне правило.

6.4 Інформаційно-статистичний аналіз структурних ознак забруднень морських акваторій

Виділення найбільш інформативних ознак – одна з основних задач при розробці систем розпізнавання, для вирішення якої необхідно [71]:

а) врахувати випадковий характер параметрів усередині класу шляхом вибору адекватних статистичних моделей ознак;

б) мінімізувати кількість ознак, необхідних для опису класів, без істотного збільшення ймовірності помилок розпізнавання;

в) зменшити ймовірність помилки розпізнавання шляхом вибору відповідних вирішальних правил.

Ознаки для класифікації об'єкта дослідження ξ_i залежать від вхідних даних V_i .

Ознаки досліджуваного об'єкта ξ_i випадкові та, у загальному випадку, статистично залежні (як параметри, що залежать від тих самих випадкових змінних). Найбільш повна характеристика ознак – багатовимірний закон їхнього розподілу $f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m)$, що є статистичною моделлю досліджуваних ознак. Більш загальна характеристика – одномірні закони розподілу $f(\xi_i)$. Для їхньої побудови досліджуються числові характеристики розподілів: математичне очікування, дисперсія, моменти більш високих порядків.

6.4.1 Методика виділення структурних ознак забруднень морських акваторій

Одним з можливих способів класифікації об'єктів на зображенні є зіставлення з еталоном. Для визначення типу забруднення морських акваторій використовується набір тестових фігур (див. п. 6.3.3) [72]. Перспективним способом формування ознакового простору є значення максимуму взаємної кореляційної функції для математичних моделей контурів досліджуваної ділянки й тестових фігур.

Для дослідження структурних ознак забруднень морських акваторій виконується моделювання випадкових контурів для кожного виду забруднення з параметрами m_k , σ_k , $V_k(\theta)$.

Для порівняльного аналізу контурів досліджуваних і тестових фігур необхідно сформулювати вибірки даних, що містять досліджувані ознаки. Для вирішення поставленої задачі проводився кореляційний аналіз ознак для кожного типу забруднення [72]. Він складається з наступних етапів:

- 1) виділення контуру ділянки, що цікавить;
- 2) моделювання випадкового контуру, характерного для даного виду забруднення (із застосуванням генератора випадкових контурів);
- 3) нормування отриманих даних;
- 4) перетворення досліджуваних контурів у розгортки;
- 5) визначення взаємної кореляційної функції між математичними моделями досліджуваної й тестової фігур;
- 6) формування вибірки даних за максимальним значенням отриманих взаємних кореляційних функцій;
- 7) формування таблиць коефіцієнтів кореляції для всіх типів забруднень із кожною тестовою фігурою;
- 8) аналіз отриманих результатів.

На рис.6.19. представлені апроксимовані контури та їхні розгортки для двох типів забруднень: абразії берега й річкового стоку. Контури були виділені за даними, отриманими з космічних знімків Landsat. На рис.6.20 наведені апроксимовані контури і їхні розгортки для трьох тестових фігур: еліпса, трикутника й п'ятикутника. Розгортки всіх досліджуваних контурів апроксимуються та нормуються, що дозволяє їх зіставити між собою. Взаємна кореляційна функція для розгортки експериментальних і тестових фігур визначається за алгоритмом, описаним в п.6.3.1.

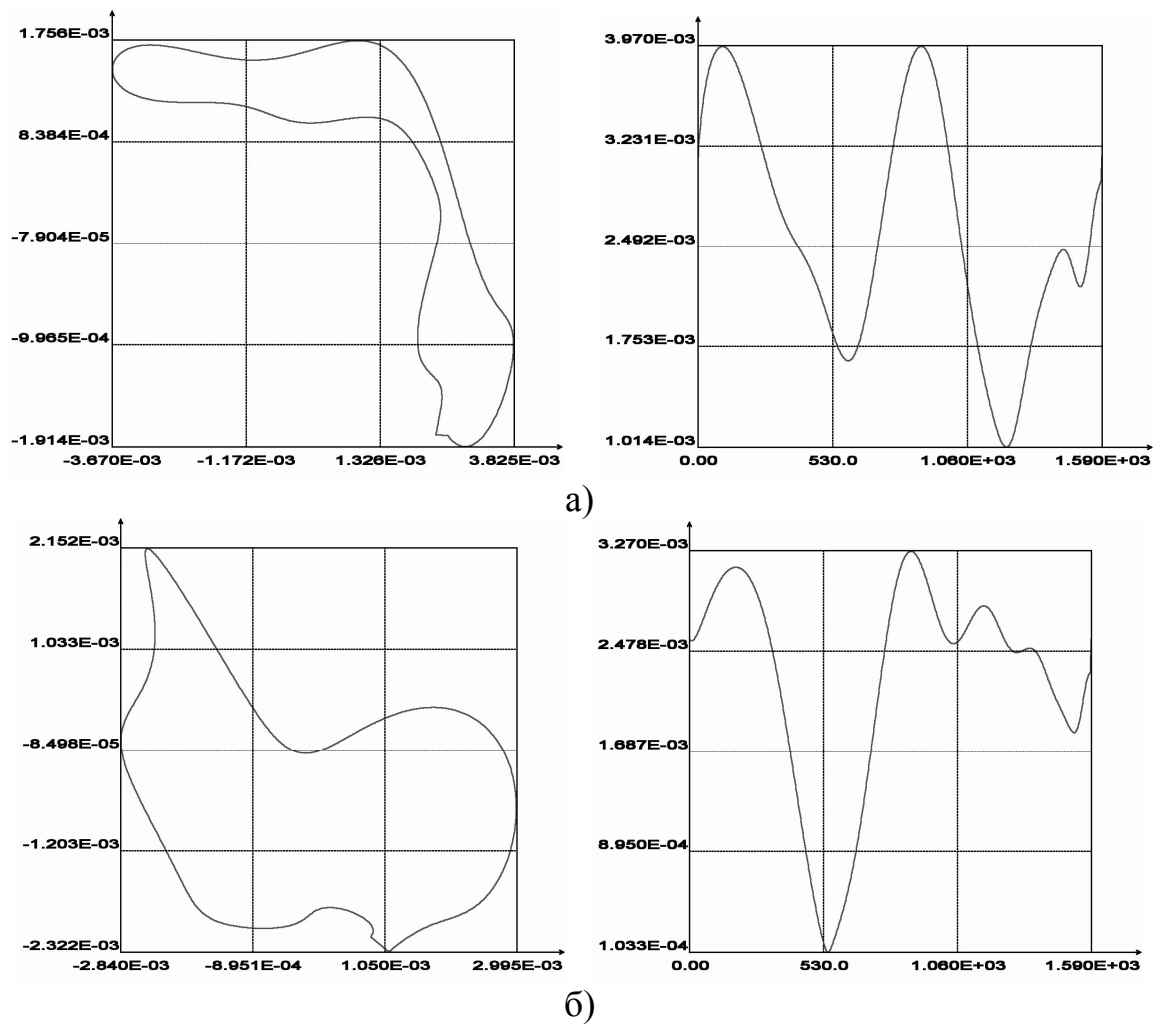


Рис.6.19 – Контури і їхні розгортки виділених на космічних знімках абразії берега (а) і річкового стоку (б)

Графічний вигляд розрахованих взаємних кореляційних функцій тестових фігур №2, №3, №5 із забрудненнями абразії берега й річкового стоку показаний на рис.6.21 - 6.26.

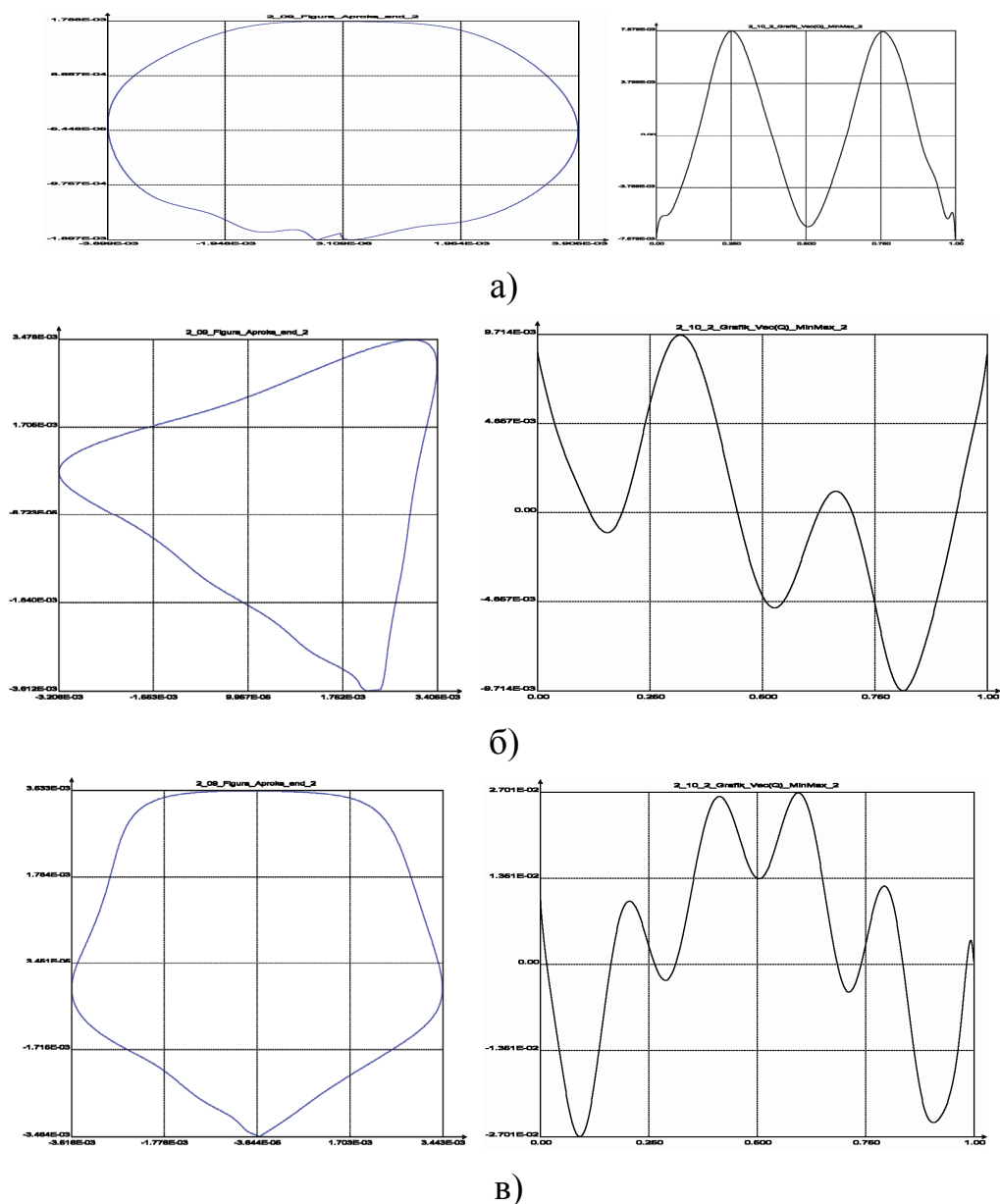


Рис.6.20 – Апроксимовані контури і їхні розгортки для тестових фігур № 2 (а), № 3 (б) і № 5 (в)

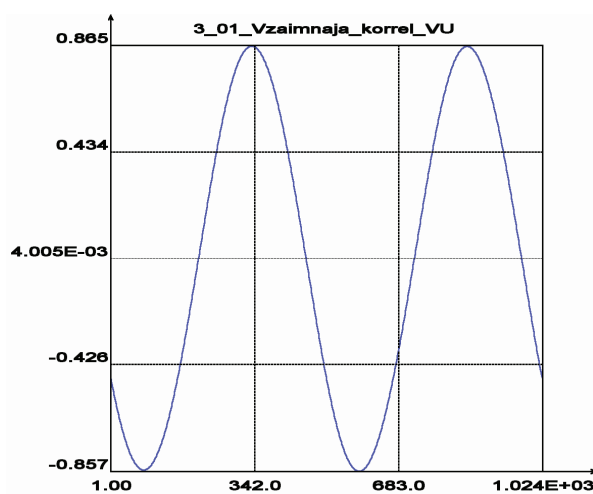


Рис.6.21 – Взаємна кореляційна функція, розрахована між контурами абразії берега й тестовою фігурою №2

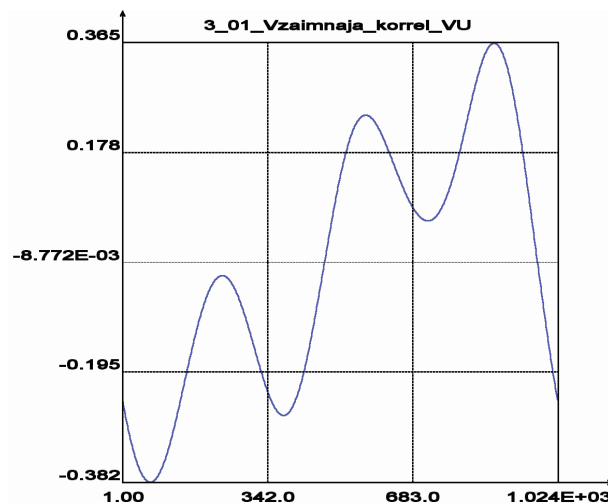


Рис.6.22 – Взаємна кореляційна функція, розрахована між контурами абразії берега й тестовою фігурою №3

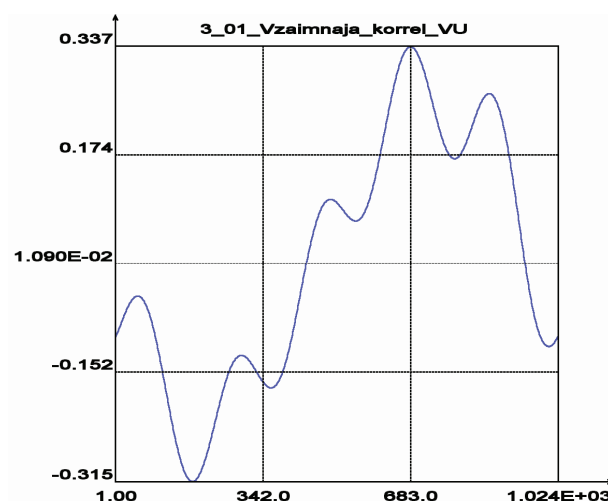


Рис.6.23 – Взаємна кореляційна функція, розрахована між контурами абразії берега й тестовою фігурою №5

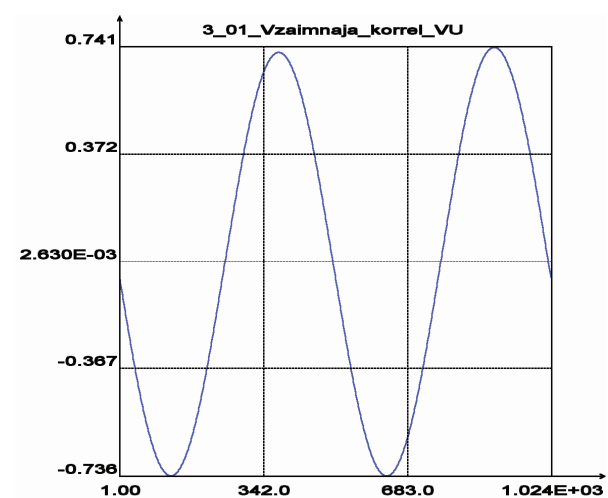


Рис.6.24 – Взаємна кореляційна функція, розрахована між контурами річкового стоку й тестовою фігурою №2

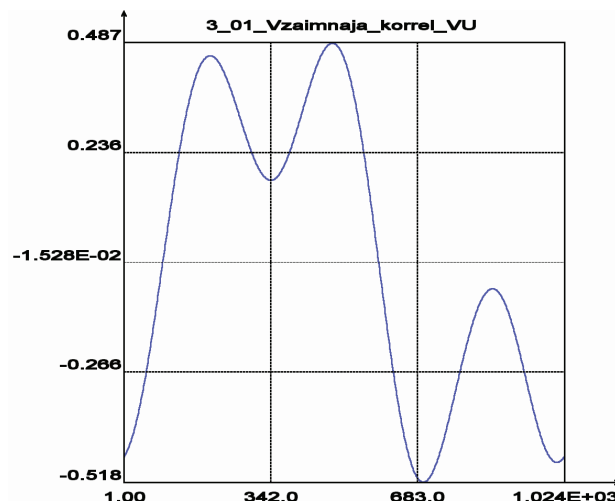


Рис.6.25 – Взаємна кореляційна функція, розрахована між контурами річкового стоку й тестовою фігурою №3

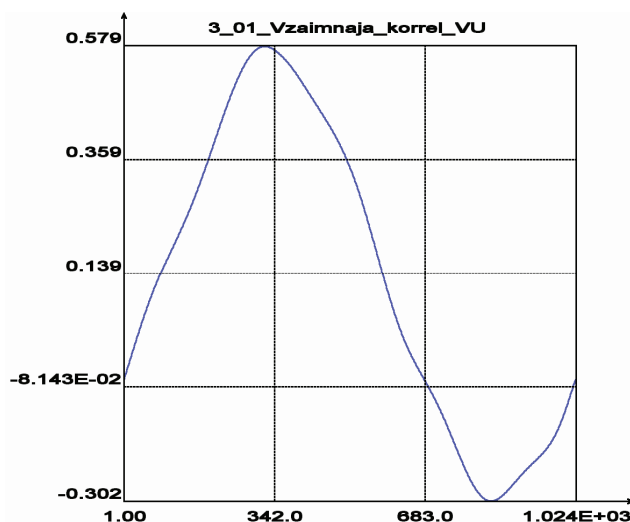


Рис.6.26 – Взаємна кореляційна функція, розрахована між контурами річкового стоку й тестовою фігурою №5

Всі досліджувані контури в просторі орієнтовані довільно, тому при обчисленні взаємної кореляційної функції між двома контурами використовується її максимум C_{mni} , де m – номер базового контуру забруднення (1 – абразія берега, 2 – «цвітіння» фітопланктону, 3 – річковий стік, 4– нафтові забруднення, 5 – береговий стік), n – номер тестової фігури, $n=1...10...10$, i – номер відліку вибірки, яка формується з максимальних коефіцієнтів взаємної кореляційної функції.

6.4.2 Побудова статистичної моделі структурних ознак забруднень морських акваторій

Моделювання максимальних значень ξ_{mni} ВКФ, розрахованої між розгортками контурів усереднених і тестових фігур, які використовувались як ознаки для розпізнавання типу забруднення, проводиться за методикою,

описаною в п. 6.4.1. Для сформованих вибірок розраховуються значення математичного очікування m_ξ й СКВ σ_ξ , а також центральні моменти вищих порядків (третій і четвертий центральні моменти), що визначають форму закону розподілу – коефіцієнти асиметрії $\alpha_{1\xi}$ й ексцесу $\varepsilon_{2\xi}$. Закони розподілу отриманих вибірок можна вважати нормальними, що показує аналіз коефіцієнтів асиметрії $\alpha_{1\xi}$ й ексцесу $\varepsilon_{2\xi}$.

Перевірка адекватності прийнятого закону розподілу проводиться за критерієм χ^2 .

За вибіркою максимальних значень коефіцієнтів кореляції ξ_{mni} для всіх сполучень m, n (m – кількість класів забруднень, n – кількість ознак, сформованих по тестових фігурах) були побудовані гістограми розподілів $H(\xi)$ і щільності розподілів $f(\xi)$, за якими розраховуються параметри моделей m, σ .

Значення вибірових даних максимальних коефіцієнтів взаємної кореляційної функції перебувають у межах $(-1...1)$, так як $\min(\xi_{mni}) = -1$, $\max(\xi_{mni}) = 1$. Тому статистична модель структурних ознак забруднень морських акваторій має вигляд усіченого нормального закону [73, 74]:

$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}},$$

(6.15)

$$A = \frac{1}{\Phi\left(\frac{b-m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-m}{\sigma}\right)},$$

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx.$$

де m – середнє значення;

σ – СКВ;

a, b – границі усікання нормального закону.

6.4.3 Аналіз інформативності структурних ознак

У результаті виконання статистичного моделювання були отримані вибірки 10 ознак для кожного виду досліджуваних забруднень. При побудові ефективного алгоритму класифікації передбачається, що некорельовані ознаки несуть більше розпізнавальної інформації, ніж сильно корельовані. У зв'язку із цим виконується аналіз корельованості отриманих 10 ознак з метою зменшення ознакового простору.

Значення коефіцієнтів кореляції між m -тою й n -тою ознакою $K_{mn}|_z$ розраховуються як [72, 75]:

$$K_{mn} \Big|_z = \frac{\sum_{k=1}^N (\xi_{zmk} - m_{\xi_{zm}}) \cdot (\xi_{znk} - m_{\xi_{zn}})}{(N-1) \cdot \sigma_{\xi_{zm}} \cdot \sigma_{\xi_{zn}}}, \quad (6.16)$$

$$\sigma_{\xi_{zi}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{k=1}^N (\xi_{zik} - m_{\xi_{zi}})^2}$$

де z – номер усередненого контуру забруднення;

ξ_{zmk} , ξ_{znk} – вибірки максимальних коефіцієнтів кореляції, розрахованих між z -м контуром забруднення й m -м, n -м контуром тестової фігури, що складаються з k елементів;

$m_{\xi_{zm}}$, $m_{\xi_{zn}}$, $\sigma_{\xi_{zm}}$, $\sigma_{\xi_{zn}}$ – математичні очікування й СКВ для вибірок ξ_{zmk} , ξ_{znk} відповідно;

N – кількість відліків у вибірках.

Алгоритм розрахунку коефіцієнтів кореляції $K_{mn} \Big|_z$ ознак для m -тої й n -тої тестової фігури ($m=1..10$, $n=1..10$) при z -му забрудненні ($z=1..5$) показаний на рис. 6.27. Вибірки ξ_{zmk} , ξ_{znk} сформовані за методикою, описаною в п. 6.4.

1. Базовим контуром є усереднений контур z -го забруднення.

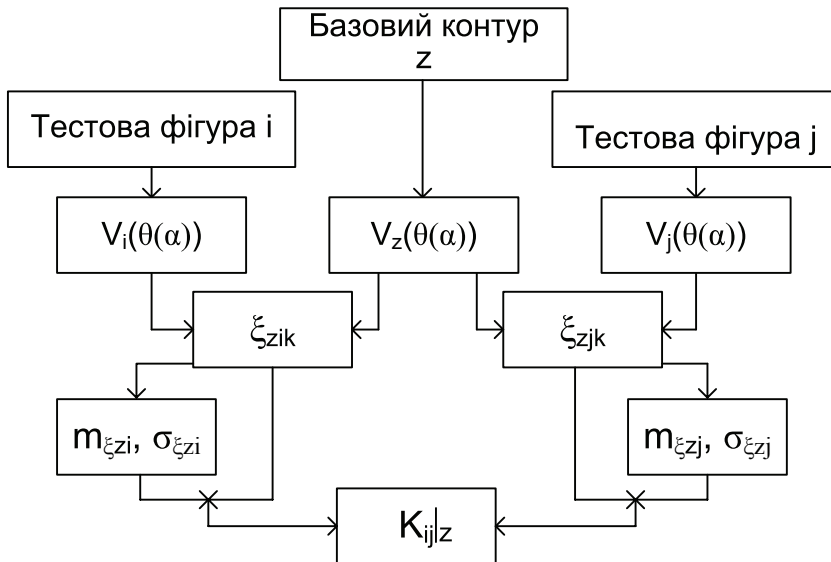


Рис.6.27 – Алгоритм розрахунку коефіцієнтів кореляції тестових фігур

Запропонований алгоритм розрахунку коефіцієнтів кореляції $K_{ij} \Big|_z$ i -ї та j -ї тестової фігури при z -му забрудненні дає можливість досліджувати корельованість тестових фігур між собою для кожного виду забруднення [72].

На основі отриманих даних $K_{ij} \Big|_z$ формуються таблиці коефіцієнтів кореляції для всіх тестових фігур по кожному виду забруднення. За цими

даними досліджується інформативність тестових фігур з метою мінімізації ознакового простору.

У табл. 6.4 представлена таблиця усереднених коефіцієнтів кореляції $K_{\Sigma ij}$. Дані в таблиці сформовані як середнє значення всіх відповідних коефіцієнтів кореляції тестових фігур по п'ятьох класах забруднень:

$$K_{\Sigma ij} = \frac{\sum_{z=1}^K K_{ijz}}{Z}, \tag{6.17}$$

де $Z=5$ - кількість класів забруднень.

Аналіз отриманих результатів дозволив з 10 ознак із подальшого розгляду виключити ознаки №6, №7. Це пов'язано з тим, що по всіх забрудненнях вони сильно корельовані з усіма іншими ознаками. Коефіцієнт кореляції при цьому варіюється від 0,58 до 0,93.

Таблиця 6.4 – Коефіцієнти кореляції ознак ξ_i, ξ_j , усереднені по всіх видах забруднень

	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_5	ξ_6	ξ_7	ξ_8	ξ_9	ξ_{10}
ξ_1	1	0,944	0,673	0,5015	0,589	0,8915	0,845	0,3760	0,5750	0,5195
ξ_2		1	0,833	0,4936	0,853	0,930	0,724	0,3815	0,5452	0,4531
ξ_3			1	0,5405	0,695	0,7871	0,795	0,3708	0,5726	0,5816
ξ_4				1	0,513	0,7438	0,783	0,5235	0,6955	0,7401
ξ_5					1	0,8212	0,899	0,4916	0,6028	0,5949
ξ_6						1	0,703	0,6763	0,7961	0,8250
ξ_7							1	0,3688	0,7146	0,6964
ξ_8								1	0,4034	0,4295
ξ_9									1	0,6399
ξ_{10}										1

6.5 Вибір методу класифікації забруднень морських акваторій

У статистичній теорії прийняття рішень використовується ймовірнісний опис класів об'єктів у вигляді умовних по класу z щільностей ймовірності ознаки $\vec{\xi}$ як $f(\xi|z)$, для яких повинна виконуватись умова:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(\xi|z) d\xi = 1.$$

У п. 6.3.3 був запропонований векторний ознаковий простір $\vec{\xi}$ z -го забруднення:

$$\vec{\xi}_z = \begin{bmatrix} \xi_1(z) \\ \xi_2(z) \\ \dots \\ \xi_M(z) \end{bmatrix}, \tag{6.18}$$

де $\xi_i(z)$ – максимальне значення взаємної кореляційної функції математичної моделі контуру z -го забруднення й i -ої тестової фігури (6.11), $i = 1 \dots M$; M – кількість ознак $\vec{\xi}$.

Як правило, кожному класу ставиться у відповідність апріорна ймовірність $P(z_j)$ ($j = 1 \dots Z$, Z – кількість досліджуваних видів забруднень) появи даного класу в спостережуваному сигналі (або зображенні). За результатами спостереження (виміру) значення ознаки $\vec{\xi} = \vec{x}$ можна визначити апостеріорні ймовірності $P(z|\vec{x})$ по формулі Байєса:

$$P(z|\vec{x}) = \frac{P(z) \cdot f(x|z)}{\sum_{k=1}^N P_k(z) \cdot f_k(x|z)} \quad (6.19)$$

Методи прийняття рішень розрізняються по ступеню використання апріорної інформації. Найбільш відомими статистичними методами розпізнавання є [75]: Байєса, Неймана-Пірсона, мінімаксий, максимальної правдоподібності. Перераховані методи ґрунтуються на формуванні відношення правдоподібності $L(\vec{x})$ і його порівнянні з порогом c , значення якого визначається обраним критерієм якості [65]:

$$L(\vec{x}) = \frac{f_n(x_1, \dots, x_n | z_2)}{f_n(x_1, \dots, x_n | z_1)} \geq c, \quad (6.20)$$

де $f_n(x_1, \dots, x_n | z_j)$ – умовна n -мірна щільність імовірності вибірових значень $x_1, \dots, x_n$ за умови їхньої приналежності до класу z_j .

Критерій максимальної правдоподібності не вимагає знання апріорних ймовірностей класів і функції втрат, дозволяє оцінювати вірогідність рішень, узагальнюється на випадок багатьох класів, простий в обчисленнях.

У цьому випадку відношення правдоподібності L порівнюється з одиницею:

$$L(x) = \frac{f(x|z_2)}{f(x|z_1)} > 1 \Rightarrow f(x|z_2) > f(x|z_1)$$

$$z = \begin{cases} z_2, \text{ якщо } L(x_n) \geq 1; \\ z_1, \text{ якщо } L(x_n) < 1. \end{cases}$$

Для випадку Z класів вирішальне правило має вигляд

$$z = z_1 = \begin{cases} f(x|z_1) > f(x|z_2) \\ f(x|z_1) > f(x|z_3) \\ \dots \\ f(x|z_1) > f(x|z_Z) \end{cases}, \quad (6.21)$$

тобто клас i визначається з умови

$$\max_{1 \leq j \leq Z} \{f(x|z_j)\} = f(x|z_i) \Rightarrow z = z_i, i = 1..Z.$$

Так як апіорні ймовірності й функції втрат у досліджуваному випадку невідомі, то як вирішальне правило для визначення класів забруднень морських акваторій обраний критерій максимальної правдоподібності (6.21).

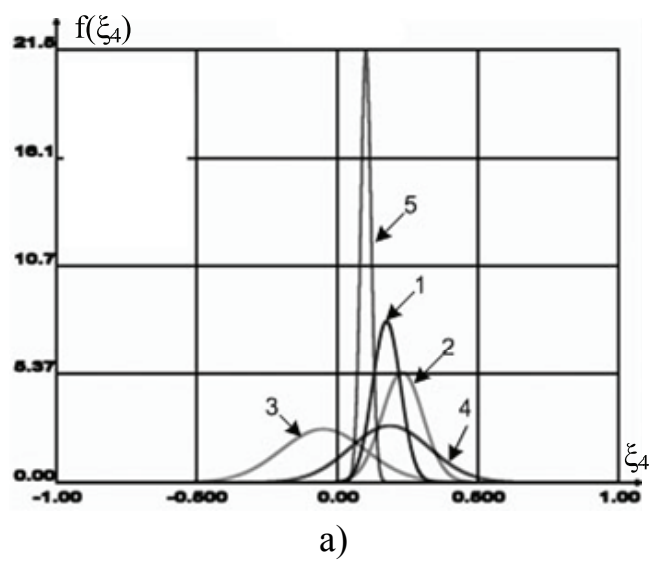
Для оцінки ефективності алгоритмів класифікації визначаються ймовірності помилкового рішення, тобто ймовірність того, що об'єкт помилково відноситься до даного класу.

6.6 Імовірнісний аналіз ознак класифікації

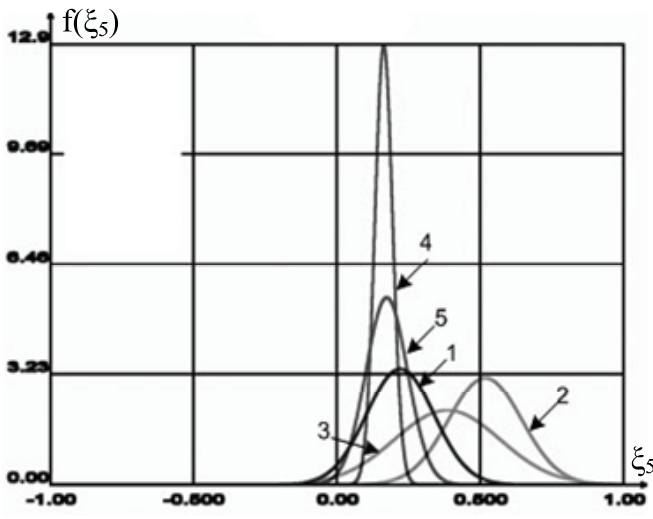
Статистична модель структурних ознак забруднень морських акваторій, запропонована в п.6.4.2, являє собою усічений нормальний закон (6.15).

Для всіх структурних ознак ξ_i були отримані оцінки умовних по класах забруднень щільності розподілу.

Отримані результати для двох ознак ξ_4 і ξ_5 представлені на рис. 6.28.



а)



б)

Рис.6.28 –Щільності розподілу типів забруднень ознак ξ_4 (а) і ξ_5 (б):

(1 - абразія берега, 2 - «цвітіння» фітопланктону, 3 - річковий стік, 4 - нафтові забруднення, 5 - береговий стік)

Згідно (6.21) всі можливі значення $x \in [-1...1]$ необхідно розбити на M діапазонів, що не перекриваються $x \in [w_1, w_2, ..., w_M]$ (див. рис. 6.29), для яких

$$\begin{aligned} w_1 \cup w_2 \cup w_3 \dots \cup w_M &= [-1...1] \\ w_i \cap w_j &= \emptyset, \quad i \neq j, \quad i=1, M, \quad j=1, M, \end{aligned} \tag{6.22}$$

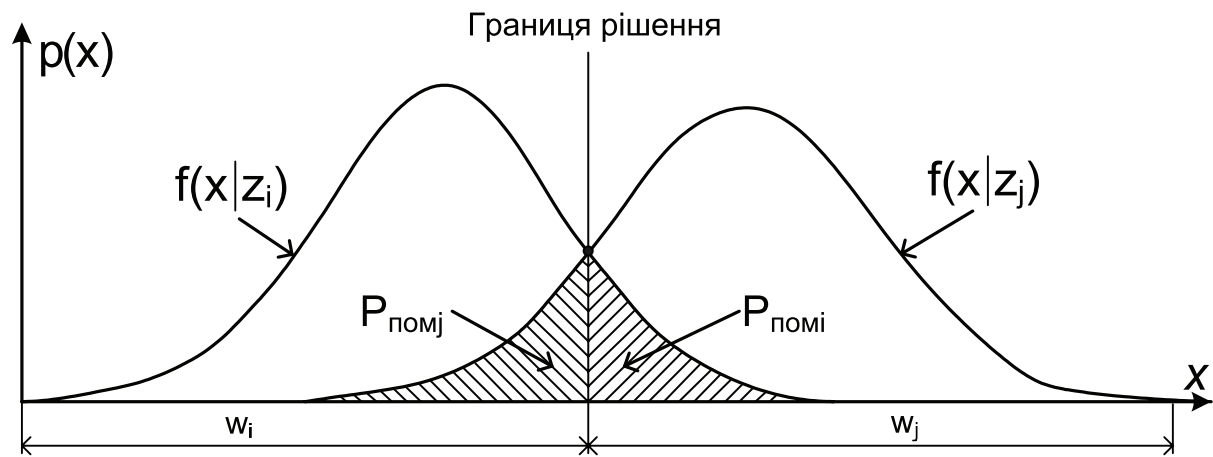


Рис.6.29 – Визначення областей прийняття рішень

Для $K \geq 2$ класів помилка β_k – це віднесення вибірки до якого-небудь певного класу, до якого вона насправді не належить.

Ймовірність віднесення спостережуваної ознаки до класу z_j , коли він у дійсності належить до класу z_i , визначається як:

$$P_{ij} = \int_{w_j} f(x|z_i)dx = \beta, \tag{6.23}$$

де w_j – область прийняття рішення на користь класу j .

При $i = j$ ймовірність правильного рішення визначається як

$$P_{ii} = \int_{w_i} f(x|z_i)dx, \tag{6.24}$$

Загальна структура матриці помилок представлена таблицею 6.5.

Якщо до розпізнавання пред'явлений клас z_i , то, згідно (6.22), рішення буде прийнято з імовірністю, рівній одиниці, тобто

$$\sum_{j=1}^M P_{ij} = 1 \quad \text{для всіх } i = 1...M .$$

Таблиця 6.5 – Загальний вигляд матриці помилок

		Ухвалене рішення		
		z_1	z_2	z_3
Пред'явлений клас	z_1	P_{11}	P_{12}	P_{13}
	z_2	P_{21}	P_{22}	P_{23}
	z_3	P_{31}	P_{32}	P_{33}

У припущенні рівноймовірнісного пред'явлення для розпізнавання класів z_i середня ймовірність правильного рішення $P_{пр}$ визначається як

$$P_{\text{їѳ}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M P_{ii} \text{ ,} \tag{6.25}$$

а ймовірність помилки

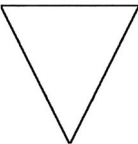
$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{j \neq i=1}^M P_{ij} \tag{6.26}$$

або

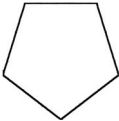
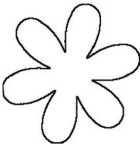
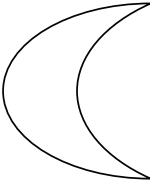
$$P_{\text{ош}} = 1 - P_{\text{пр}} \text{ .} \tag{6.27}$$

Для 8 структурних ознак, що залишились, розраховуються ймовірності помилки визначення класів забруднень, а також будуються відповідні графіки. Отримані дані представлені в табл. 6.6.

Таблица 6.6. – Розрахункова таблиця помилок ймовірностей визначення класів забруднень по тестових фігурах

Ознака	Тестова фігура	Пред'явлений клас	Ухвалене рішення				
			z=1	z=2	z=3	z=4	z=5
1	2	3	4	5	6	7	8
ξ ₁		Абразія берега z=1	0,49	0,02	0,09	0,27	0,13
		«Цвітіння» Фітопланктону z=2	0	0,67	0,23	0,1	0
		Річковий стік z=3	0,27	0,13	0,47	0,08	0,05
		Нафтові забруднення z=4	0,07	0	0	0,62	0,31
		Береговий стік z=5	0,08	0	0,03	0,41	0,48
ξ ₂		Абразія берега z=1	0,47	0	0,09	0,25	0,19
		«Цвітіння» Фітопланктону z=2	0	0,80	0,09	0,11	0
		Річковий стік z=3	0,27	0,06	0,48	0,1	0,09
		Нафтові забруднення z=4	0,14	0	0	0,44	0,42
		Береговий стік z=5	0,05	0,07	0	0,28	0,60
ξ ₃		Абразія берега z=1	0,43	0,01	0,14	0,12	0,30
		«Цвітіння» Фітопланктону z=2	0,01	0,91	0,08	0	0
		Річковий стік z=3	0,11	0,14	0,43	0,08	0,24
		Нафтові забруднення z=4	0,12	0	0,17	0,33	0,28
		Береговий стік z=5	0,09	0	0,07	0,11	0,73

Продовження Таблиці 6.6.

1	2	3	4	5	6	7	8
ξ_4		Абразія берега z=1	0,82	0,08	0,02	0	0,08
		«Цвітіння» Фітопланктону z=2	0,36	0,51	0	0,05	0,08
		Річковий стік z=3	0,08	0,03	0,77	0	0,12
		Нафтові забруднення z=4	0,24	0,07	0,19	0,34	0,16
		Береговий стік z=5	0,06	0	0,01	0	0,93
ξ_5		Абразія берега z=1	0,43	0,04	0,11	0,26	0,16
		«Цвітіння» Фітопланктону z=2	0,06	0,81	0,12	0	0,01
		Річковий стік z=3	0,20	0,25	0,36	0,09	0,10
		Нафтові забруднення z=4	0	0	0	0,85	0,15
		Береговий стік z=5	0,17	0	0,01	0,33	0,49
ξ_8		Абразія берега z=1	0,45	0	0	0,39	0,16
		«Цвітіння» Фітопланктону z=2	0,04	0,86	0,05	0,02	0,03
		Річковий стік z=3	0,14	0,03	0,29	0,18	0,36
		Нафтові забруднення z=4	0,28	0	0	0,55	0,17
		Береговий стік z=5	0,02	0	0,08	0,20	0,70
ξ_9		Абразія берега z=1	0,43	0,05	0,03	0,23	0,26
		«Цвітіння» Фітопланктону z=2	0,09	0,63	0,02	0,18	0,08
		Річковий стік z=3	0,06	0,13	0,50	0,05	0,26
		Нафтові забруднення z=4	0,18	0,15	0,03	0,39	0,25
		Береговий стік z=5	0,09	0	0,03	0	0,88
ξ_{10}		Абразія берега z=1	0,34	0,18	0	0,27	0,21
		«Цвітіння» Фітопланктону z=2	0,12	0,77	0,08	0	0,03
		Річковий стік z=3	0,14	0,36	0,34	0,07	0,09
		Нафтові забруднення z=4	0,03	0	0	0,81	0,16
		Береговий стік z=5	0,14	0	0	0,50	0,36

Для кожної ознаки ξ_i , $i=1..8$ була розрахована середня ймовірність ухвалення правильного рішення P_{ξ_i} , що визначалася як (6.25), де P_{ii} визначалася як (6.24).

Отримані результати наведені в табл. 6.7. Аналіз отриманих результатів показує, що з 8 запропонованих ознак ξ_i , $i=1...8$, найбільш інформативними є три: ξ_4 , ξ_5 і ξ_8 , при цьому ймовірність ухвалення правильного рішення перебуває в межах 0,57...0...0,674. Також високі значення $P_{i0} = 0,566$ спостерігаються при використанні ознак ξ_3 й ξ_9 .

Таблиця 6.7 – Середні ймовірності ухвалення правильного рішення

Ознака ξ_i	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_5	ξ_8	ξ_9	ξ_{10}
Середня ймовірність	0,546	0,558	0,566	0,674	0,588	0,570	0,566	0,504

Як відомо, для зменшення ймовірності помилки можна підвищити розмірність ознакового простору, тобто використати двовимірні й тривимірні ймовірнісні моделі ознак [76].

Двовимірна щільність розподілу векторної ознаки $\vec{x} = \{x_i, x_j\}$ визначається як

$$f_z(x_i, x_j|z) = \frac{C_{ij}(z)}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_i(z) \cdot \sigma_j(z) \cdot \sqrt{1-r_z^2}} \times \exp \left\{ - \frac{\left(\frac{x_{iz} - m_i(z)}{\sigma_i(z)} \right)^2 - 2r_z \cdot \left(\frac{x_{iz} - m_i(z)}{\sigma_i(z)} \right) \cdot \left(\frac{x_{jz} - m_j(z)}{\sigma_j(z)} \right) + \left(\frac{x_{jz} - m_j(z)}{\sigma_j(z)} \right)^2}{2 \cdot (1-r_z^2)} \right\} \tag{6.28}$$

де r_z – нормований коефіцієнт кореляції між x_i й x_j [66].

Нормований коефіцієнт $C_{ij}(z)$ в (6.28) визначається як:

$$C_{ij}(z) = 1 / \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 f(\vec{x}|z) dx_i dx_j \tag{6.29}$$

На рис. 6.30 представлений вигляд двовимірної щільності розподілу ознак ξ_4 , ξ_5 .

Розрахунок матриць теоретичних помилок для всіх можливих комбінацій z_i й z_j показує, що багато ознак дають низькі значення ймовірностей, що дає підстави не використовувати їх для подальших досліджень. Найбільш інформативними ознаками є ξ_3 , ξ_4 і ξ_5 .

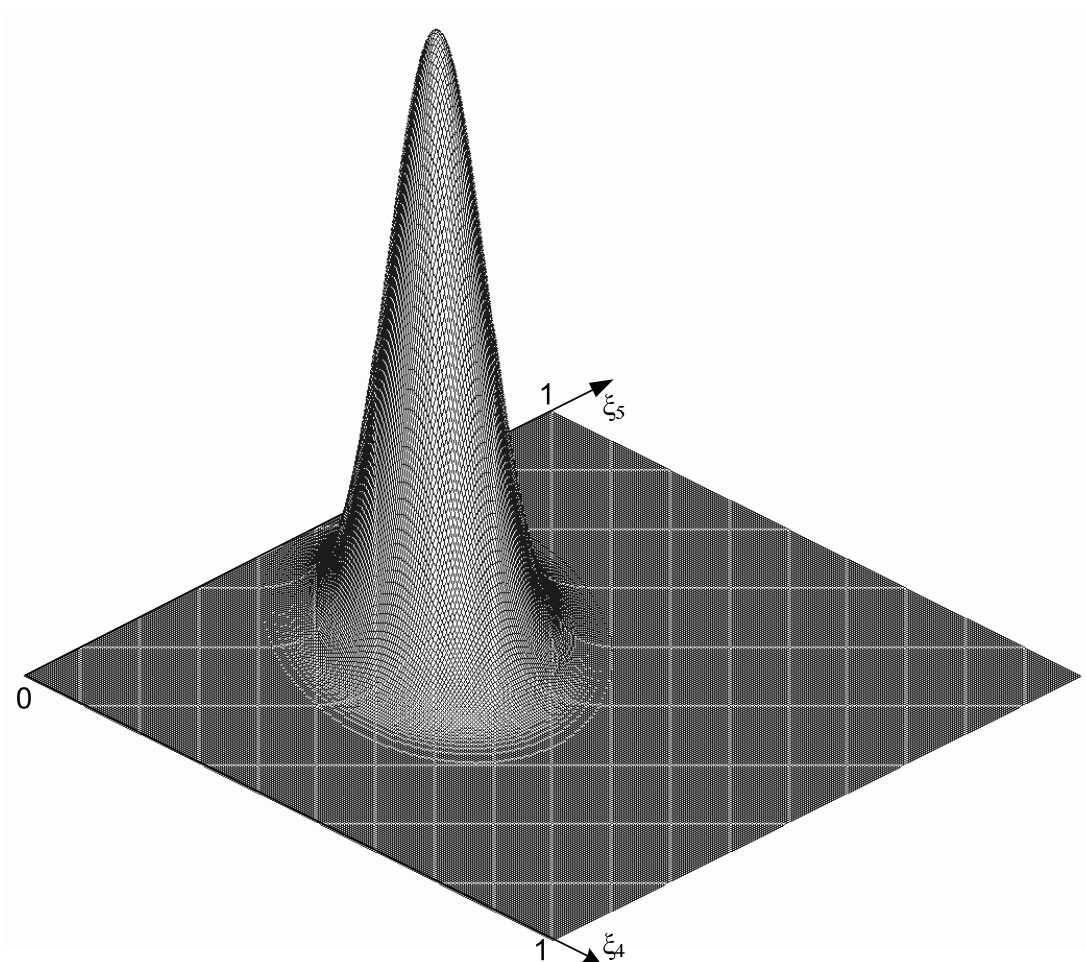


Рис. 6.30 – Двовимірний щільність розподілу ймовірності ознак ξ_4, ξ_5

Як приклад, у табл. 6.8 представлені матриці помилок для одного з найбільш інформативних векторів $\vec{x}_{34} = \{\xi_3, \xi_4\}$. Проведений аналіз дозволяє виділити найбільш інформативні структурні ознаки, які дозволяють із найбільшими ймовірностями правильного рішення класифікувати забруднення морських акваторій: ξ_3, ξ_4 і ξ_5 .

Таким чином, підвищення розмірності ознакового простору дозволяє збільшити ймовірність ухвалення правильного рішення.

Для подальшого підвищення ймовірностей ухвалення правильного рішення при класифікації забруднень морських акваторій розмірність ознакового простору була збільшена: $\vec{x}_{345} = \{\xi_3, \xi_4, \xi_5\}$.

Таблиця 6.8 – Теоретична матриця помилок для векторної ознаки $\vec{x}_{34} = \{\xi_3, \xi_4\}$

$\vec{x}_{34} = \{\xi_3, \xi_4\}$		z=1	z=2	z=3	z=4	z=5
z=1	Абразія берега	0,68	0,11	0,08	0,12	0,01
z=2	«Цвітіння» фітопланктону	0,16	0,74	0,05	0,03	0,02
z=3	Річковий стік	0,03	0,09	0,81	0,05	0,02
z=4	Нафтові забруднення	0	0,12	0,03	0,85	0
z=5	Береговий стік	0	0,08	0,03	0,01	0,88

Як вирішальне правило використовується формула (6.21) для векторної ознаки $\vec{x}_{345} = \{\xi_3, \xi_4, \xi_5\}$, щільність розподілу якої має вигляд:

$$f_z(\vec{x}_{345}|z) = \frac{C_{345}(z)}{(2\pi)^{\frac{M}{2}} |K|^{\frac{1}{2}}} \times \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M |K_{ij}| \cdot (x_{iz} - m_i(z)) \cdot (x_{jz} - m_j(z))}{|K|}\right\}, \tag{6.30}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}, \quad C_{345}(z) = 1 / \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 f(\vec{x}_{345}) dx_3 dx_4 dx_5,$$

де $M=3$ – кількість інформативних ознак;
 $|K|$ – визначник кореляційної матриці $[K]$;
 $|K_{ij}|$ – алгебраїчне доповнення елемента K_{ij} ,
 x_{iz}, x_{jz} – вибірки значень ознаки ξ_{iz}, ξ_{jz} , розрахованої між z -им базовим контуром забруднення й i -им й j -им контурами тестових фігур;
 $m_i(z), m_j(z)$ – математичні очікування для вибірок x_{iz}, x_{jz} відповідно.

Результати розрахунків матриці теоретичних помилок для векторної ознаки $\vec{x}_{345} = \{\xi_3, \xi_4, \xi_5\}$ наведені в табл. 6.9. Аналіз отриманих результатів показує, що використання тривимірного ознакового простору дозволяє підвищити ймовірність правильного розпізнавання типів забруднень на морській поверхні.

Таблиця 6.9 – Теоретична матриця помилок для векторної ознаки $\vec{x}_{345} = \{\xi_3, \xi_4, \xi_5\}$

$\vec{x}_{345} = \{\xi_3, \xi_4, \xi_5\}$		z=1	z=2	z=3	z=4	z=5
z=1	Абразія берега	0,86	0,07	0	0,06	0,01
z=2	«Цвітіння» фітопланктону	0,04	0,91	0,03	0	0,02
z=3	Річковий стік	0,02	0,01	0,9	0,03	0,04
z=4	Нафтові забруднення	0,01	0	0,03	0,94	0,02
z=5	Береговий стік	0	0	0,01	0,01	0,98

6.7 Методика експериментальних досліджень алгоритму класифікації

Для верифікації алгоритму класифікації забруднень морських акваторій застосовується метод статистичного моделювання. При цьому використовуються результати кореляційного та імовірнісного аналізу, отримані в п.6.5, п.6.6.

Методика експериментальних досліджень алгоритму класифікації аномальних явищ на морській поверхні містить у собі наступні етапи [77]:

- а) одержання космічних знімків Чорного й Азовського морів;
- б) виділення контуру аномальної ділянки на морській поверхні;
- в) створення математичної моделі виділеного контуру;
- г) розрахунок ознак, як максимальне значення взаємної кореляційної функції між досліджуваними плямами й тестовими фігурами;
- д) розпізнавання класів забруднень.

Запропонована методика реалізується із застосуванням розробленого програмного забезпечення [78].

Алгоритм експериментального визначення класів забруднень показаний на рис. 6.31. З метою експериментальної перевірки ефективності алгоритму для визначення класу забруднення проводиться моделювання контурів, що зберігають статистичні властивості досліджуваного. Такий підхід дає можливість розрахувати матрицю рішень для різних класів забруднень. Обчислення максимального значення взаємної кореляційної функції між математичними моделями досліджуваної плями й тестових фігур №3, №4, №5 визначає значення ознак ξ_3, ξ_4, ξ_5 .

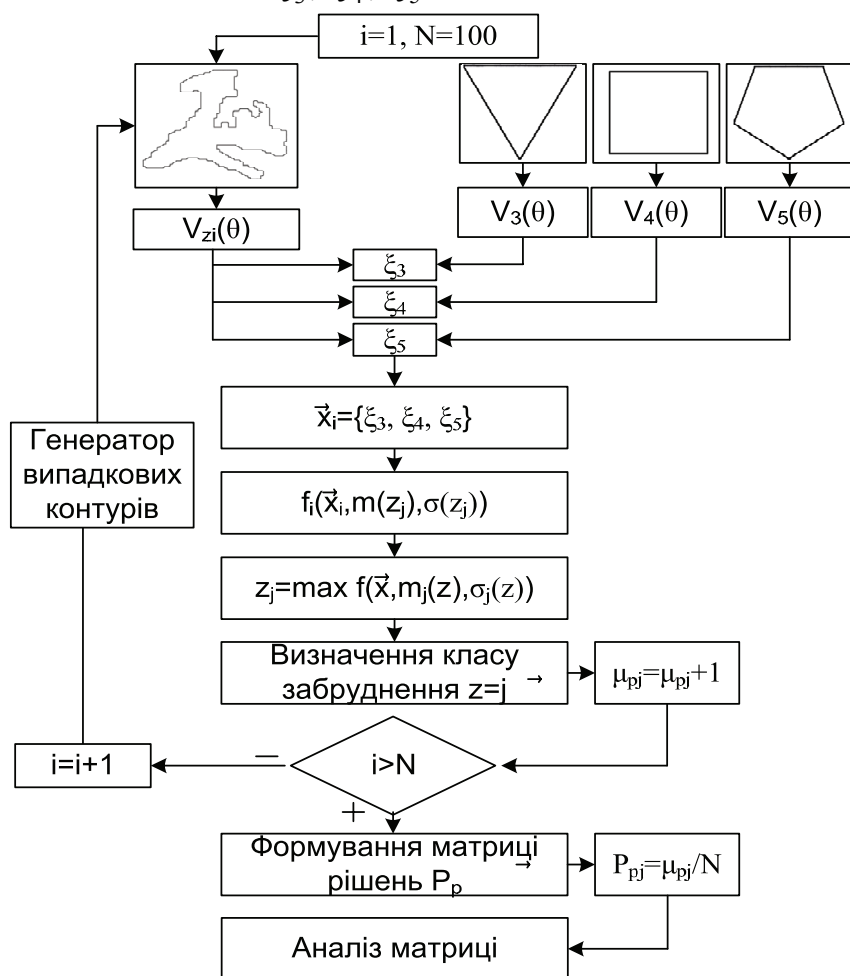


Рис.6.31 – Алгоритм експериментального визначення класів забруднень:

(m_i, σ_i – значення математичного очікування й дисперсії для i -го класу, $\bar{\mu}_p$ – значення розрахункової матриці, $\bar{P}_p$ – значення матриці рішень, N – кількість генерованих контурів).

Для класифікації досліджуваних контурів із застосуванням відібраних ознак розраховуються ймовірності приналежності до класу забруднення по одновимірним (6.15), двовимірним (6.28) і тривимірним (6.30) щільностям розподілу за наступним значенням:

- $x = \xi_3, x = \xi_4, x = \xi_5$ – для одновимірних щільностей розподілу;
- $\vec{x} = \{\xi_3, \xi_4\}, \vec{x} = \{\xi_3, \xi_5\}, \vec{x} = \{\xi_4, \xi_5\}$ для двовимірних щільностей розподілу;
- $\vec{x} = \{\xi_3, \xi_4, \xi_5\}$ – для тривимірних щільностей розподілу.

Формування розрахункової матриці $\vec{\mu}_{pj}, j=1...5$ ґрунтується на використанні генератора випадкових контурів і містить у собі наступні етапи:

а) розрахунок одновимірного (двовимірного, тривимірного) закону розподілу для кожного класу забруднення $f(\vec{x}_i, m_j, \sigma_j)$ при всіх значеннях $i, i=1....N$;

б) визначення класу забруднення для кожного значення $\vec{x}_i$ за критерієм максимальної правдоподібності:

$$z_j = \max_{j=1,5} \left(\frac{f(x_i, m_j, \sigma_j)}{\sum_{j=1}^5 f(x_i, m_j, \sigma_j)} \right); \quad (6.31)$$

в) формування значень $\mu_{pj} = \mu_{pj} + 1$ для всіх векторів $\vec{x}_i$.

Отримані вибірки μ_{pj} для всіх класів визначають ймовірність приналежності досліджуваної аномальної ділянки морської поверхні до кожного класу забруднення як

$$P_{pj} = \frac{\mu_{pj}}{N}. \quad (6.32)$$

Аналіз матриці ймовірностей P_{pj} визначає клас забруднення досліджуваного контуру аномальної ділянки морської поверхні.

6.8 Методика використання результатів розпізнавання в ГІС

Для ефективного космічного моніторингу морських акваторій необхідно мати достовірну й постійно оновлювану інформацію про основні джерела забруднень. Сучасний підхід структурування такої інформації для практичних цілей ґрунтується на концепції впровадження результатів дешифрування космічних знімків у геоінформаційні системи (ГІС). Його суть складається в створенні ГІС моніторингу морських акваторій, орієнтованої на

вирішення завдань інформаційного забезпечення управління природокористуванням, охороною навколишнього природного середовища, плануванням заходів по попередженню й ліквідації надзвичайних ситуацій.

Практична реалізація такої ГІС ґрунтується на використанні наступних інформаційних ресурсів:

- фонду космічних знімків ділянок Чорного моря;
- векторних електронних топографічних карт досліджуваних територій;
- програмного комплексу ГІС ArcView;
- програмного комплексу Erdas Imagine;
- бази даних, що включають координати скидів стічних вод, берегових джерел забруднення прибережних вод, потенційних-небезпечних об'єктів, і ін.;
- результатів тематичного дешифрування космічних знімків морських акваторій.

Задіяні інформаційні ресурси дозволяють розробляти карти актуального тематичного змісту. При цьому для відновлення інформації досить використати результати тематичного дешифрування космічних знімків, без внесення в базу даних самих знімків, що скорочує витрати часу й ресурсів.

Сучасні геоінформаційні технології відкривають нові можливості підтримки рішень в області космічного моніторингу морських акваторій, тому що візуалізація геопросторових даних засобами ГІС забезпечує єдину інформаційну основу, що поєднує всі наявні дані, які стосуються досліджуваних ділянок моря. При цьому формується геомодель морських акваторій, що складається з наявного картографічного матеріалу, космічних знімків, статистичної інформації про акваторії й окремих вимірів і спостережень (наукові дослідження). Доповнення геомоделі результатами тематичного дешифрування космічних знімків дозволяє підвищити ефективність космічного моніторингу морських акваторій за рахунок всебічного аналізу досліджуваних територій.

Процес створення ГІС із застосуванням результатів тематичного дешифрування космічних знімків містить у собі наступні етапи:

- а) одержання даних ДЗЗ на досліджувану територію;
- б) відбір космічних знімків інформативних спектральних каналів;
- в) обробка матеріалів космічної зйомки з використанням описаної методики;
- г) збереження контурів всіх виділених аномальних ділянок морських акваторій у файл;
- д) імпорт отриманих даних у ГІС ArcView;
- е) відображення результатів тематичного дешифрування на векторній електронній топографічній карті.

РОЗДІЛ 7

МАКЕТ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ КАРТОГРАФІЧНОЇ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ З ПИТАНЬ ОХОРОНИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ЧОРНОГО МОРЯ

7.1 Інструкція з експлуатації геоінформаційної системи картографічного забезпечення завдань охорони територіальних вод України на Чорному морі

На основі розробленої в цій монографії технології створено макет ГІС підтримки рішень з питань управління охороною територіальних вод і виключної морської економічної зони України на Чорному морі.

Система виконана засобами програмного пакету ArcGIS 9.3.

Наведемо регламент перегляду або редагування її картографічного та атрибутивного фондів:

- запустити на комп'ютері програму ArcGIS версії 9.3 або вище.
- у меню **File** вибрати команду **Open** і у вікні, що випадає, вказати шлях до файлу з розширенням ***.mxd** (_Sea.mxd - карта Чорного моря)
- запустити файл на виконання.

Відображення карти відбувається в правій частині екрана. Ліва частина екрана для керування шарами карти (вмикання-вимикання, нав'язування символіки тощо) і відображення її легенди.

Значна частина географічних об'єктів, зазначених на карті, містить табличну атрибутику. Для одержання відомостей табличних даних інформаційного шару варто зробити клік правою клавішею мишки на його назві і вибрати **Open Attribute Table** (Рис.7.1).



Детальні інструкції з роботи карти можна одержати з посібника з ArcGIS.

Рис. 7.1 - Відкриття атрибутивної таблиці

Зовнішній вид атрибутивної таблиці наведено на рис.7.2.

FID	Shape *	ID	Descript	TypeUA	NameUA
64	Point	0		Будинок відпочинку	
65	Point	0		Будинок відпочинку	
66	Point	0		Будинок відпочинку	"Ласпи"
67	Point	0		База відпочинку	
68	Point	0		Будинок відпочинку	Дитячий будинок відпочинку
69	Point	0		Санаторій	"Серпія Лазо"
70	Point	0		дайвинг	м. Феодосія
71	Point	0		дайвинг	Коктебель
72	Point	0		дайвинг	м. Судак
73	Point	0		дайвинг	м. Алушта

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 84 Selected)

Рис.7.2 - Зовнішній вид атрибутивної таблиці

7.2 Тематичний склад карти техногенних чинників забруднення морських акваторій та прибережних територій української ділянки Чорного моря

7.2.1 Топооснова

- depth.shp** - точки глибин;
- izolinii.shp** - ізолінії глибин;
- country.shp** - контури границь районів і границі області
- Sea bassin.shp** - основні моря, озера, водоймища.
- Rivers (NWBS) .shp** - гідромережа - ріки, озера, водойми;

Приклад шарів інтерактивної карти глибин територіальних вод Чорного моря на рис.7.3 - 7.4.

7.2.2 Ділянки моря з високим рівнем техногенного навантаження

- приморські міста (ч).shp** - основні причорноморські міста;
- Hot spots.shp** – „Гарячі точки”, міста і райони з високою ступеню ймовірності забруднення прилягаючих акваторій.
- Ports.shp** - морські й річкові порти;
- way.shp** - судноплавні шляхи й канали;
- areas.shp** - райони морських акваторій (місця очищені від мін і відкриті для судноплавства, якірні стоянки, поховання вибухонебезпечних речовин, рибальські угіддя);

svalki gruntov.shp - звалища ґрунту при днопоглиблювальних роботах;

Точки_свалок_грунта.shp - крапкове місце розташування районів відвалів ґрунту;

Приклад шарів інтерактивної карти природних і техногенних чинників забруднення територіальних вод Чорного моря на рис.1.3-1.5, 1.7, 7.5 – 7.6.

Wreck0.shp - райони місцезнаходження затоплених суден;

Затопл_взрыввещества.shp - затоплення вибухонебезпечних речовин;

Drilling platforms.shp - морські бурові платформи по видобутку природного газу й нафти;

infrastructure.shp - дані про місцезнаходження 84 баз відпочинку, турбаз, пансіонатів, будинків відпочинку, санаторіїв, дитячих оздоровчих установ і клубів дайвінга.

Mineral waters.shp - джерела мінеральної води з їхніми потужностями і якісним складом.

Muds.shp - місце розташування покладів лікувальних грязей.

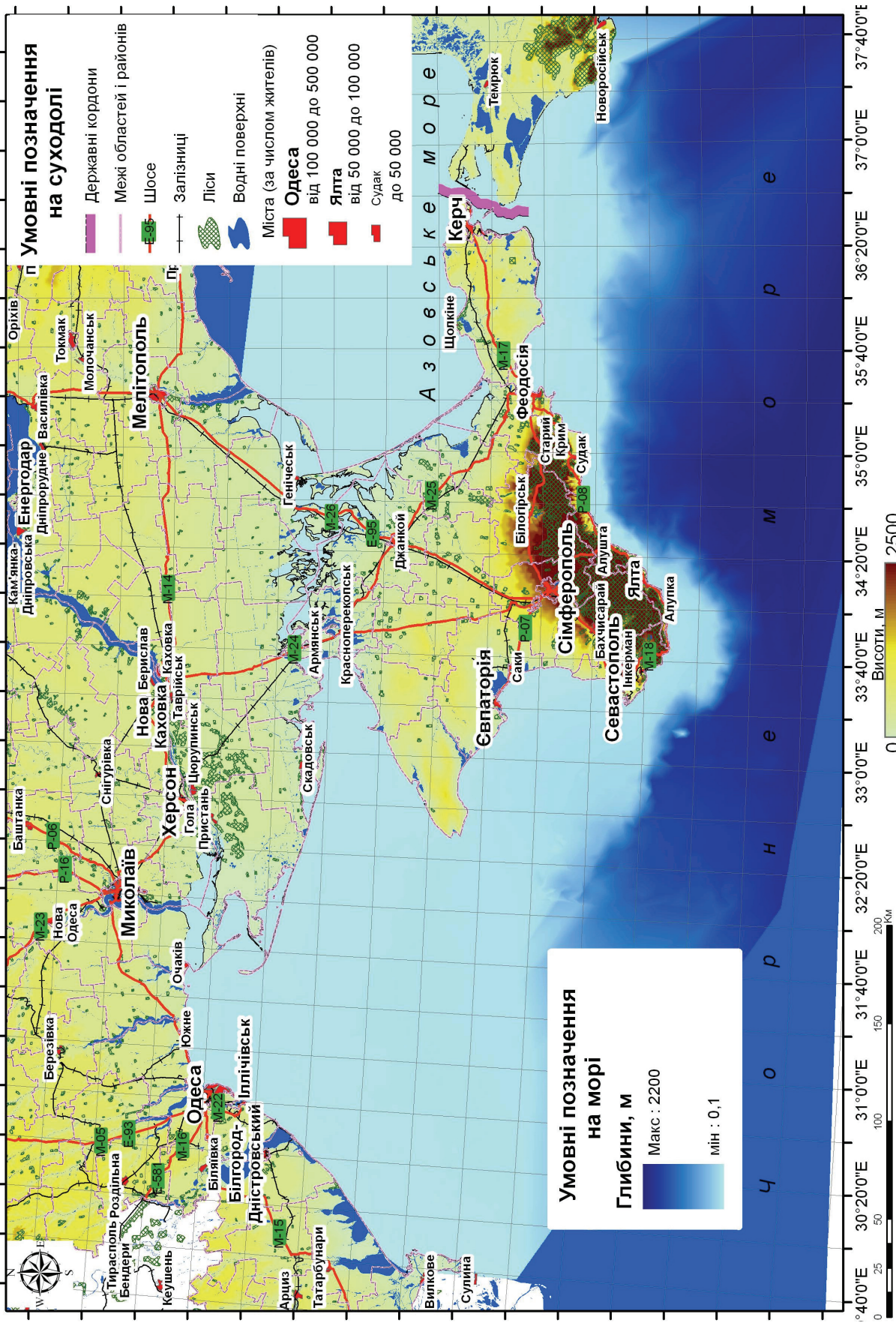


Рис.7.3 - Рельєф дна Чорного моря

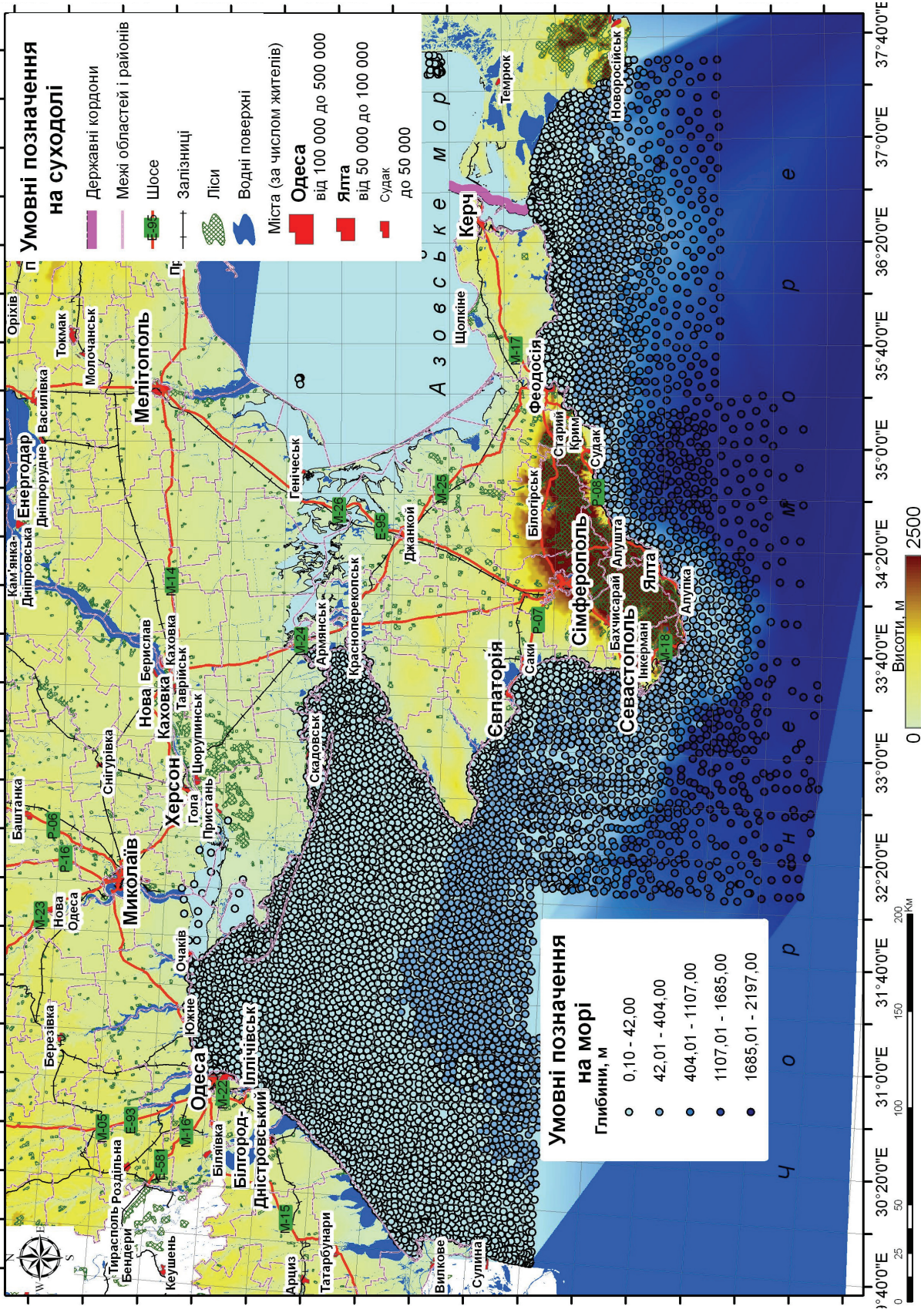


Рис.7.4 - Карта глибин

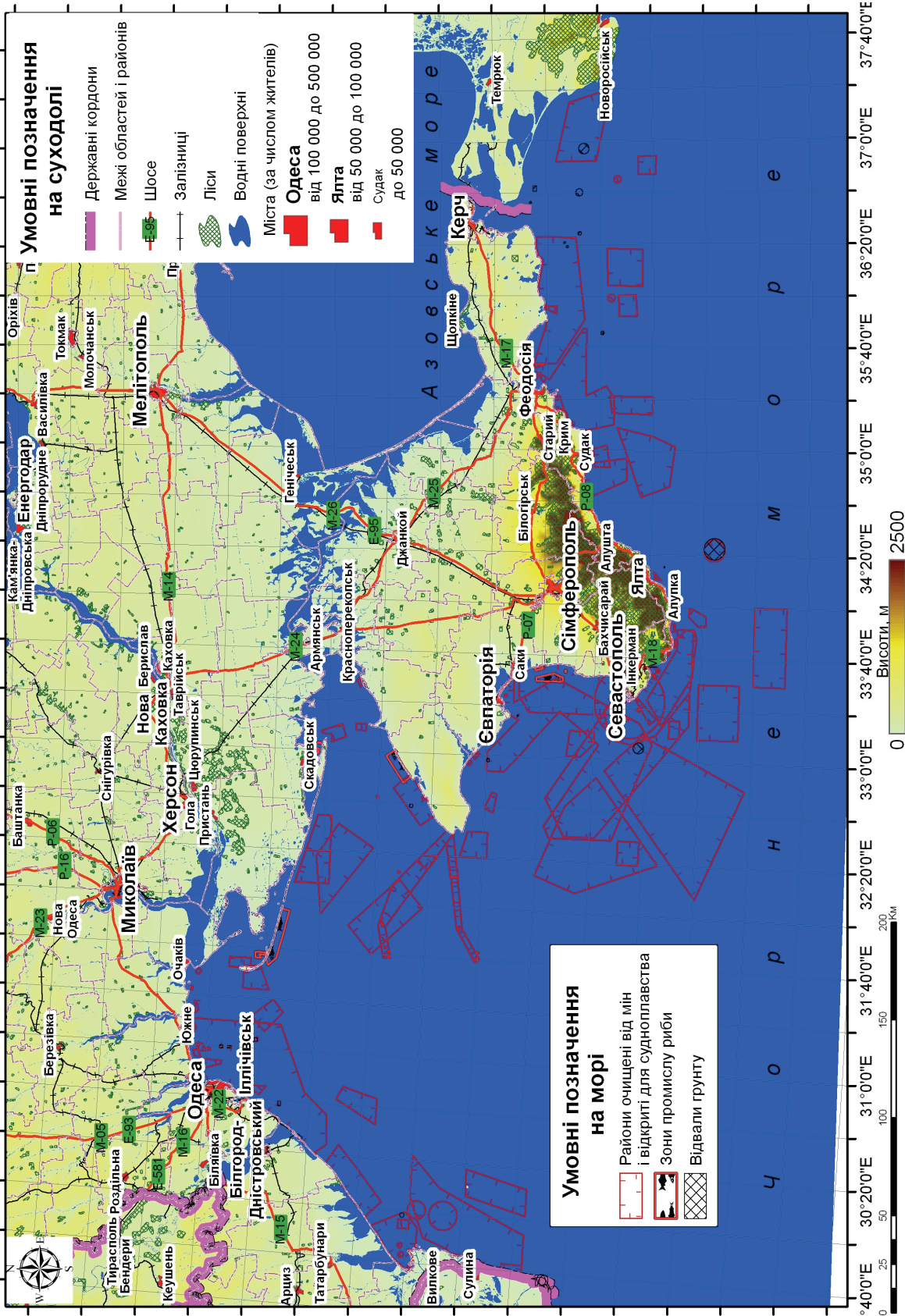


Рис. 7.5 - Райони техногенного навантаження морських акваторій (відвали ґрунту, зони промислу риби, райони очищені від мін і відкриті для судноплавства)

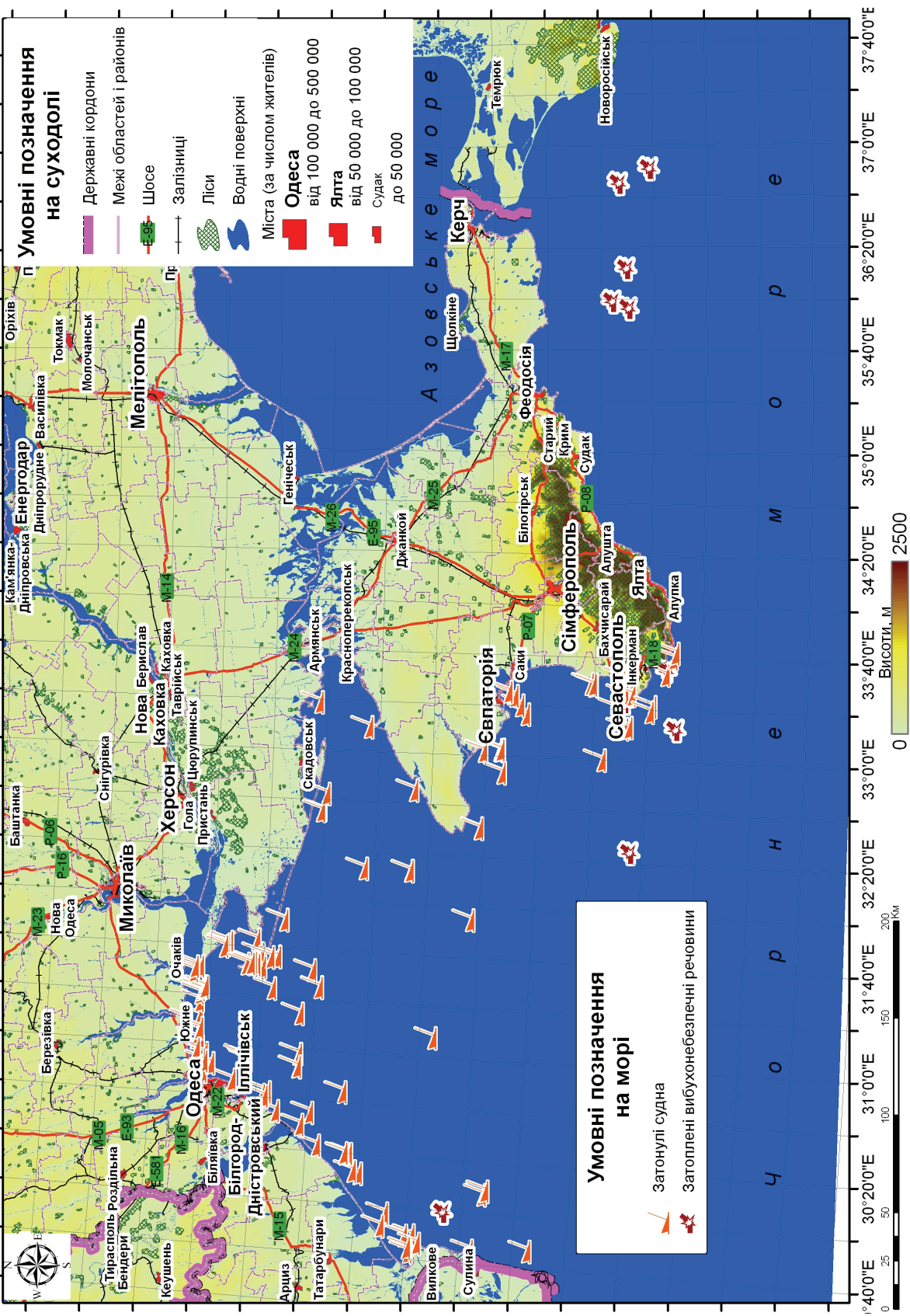


Рис.7.6 - Райони затонулих кораблів та вибухонебезпечних речовин

7.2.3 Чинники й зони ймовірних порушень стану морських вод

InventoryData.shp – крапкові джерела забруднення – місця скидань зворотних вод у прибережні акваторії;

Приклад шарів інтерактивної карти забруднення територіальних вод Чорного моря скидами стічних вод на рис.1.3.

Pollution.shp – відносна ступінь забруднення акваторій:

- максимальна
- висока
- середня

factor of pollution.shp – найбільш впливові фактори забруднення у даних зонах акваторій:

- абразія берега та взмулення
- міський та сільськогосподарський стік
- міський стік
- міський стік і взмулення з абразією
- міський стік і нафтопродукти
- нафта та нафтопродукти
- річковий стік
- річковий стік и нафта
- сільськогосподарський стік

Приклад шарів інтерактивної карти забруднення територіальних вод Чорного моря на рис.7.7.- 7.8

7.2.4 Природно ресурсні й рекреаційні об'єкти

Reserves Reserves.shp – діючі або заплановані території заповідного фонду:

- біосферні заповідники;
- заказники;
- заповідники;
- ландшафтні парки;
- національні природні парки;
- резервні території.

Coastal protected objects.shp – території заповідного фонду:

- Ботанічний сад
- Біосферний заповідник
- Заказник
- Заповідне урочище
- Заповідник
- Ландшафтний парк

- Пам'ятка природи
- Парк
- Прибережний аквально-комплекс

Приклад шарів інтерактивної карти природно-ресурсних і рекреаційних об'єктів узбережжя Чорного моря на рис.7.9 – 7.11.

На основі ГІС – платформи ArcGIS 9.3, топографічної векторної карти України М 1:200 000 і баз атрибутивних даних джерел скидів стічних вод, викидів в атмосферу, дампінгу і т.д. розроблені макети екологічних карт українського сектору Чорного моря на території України, а також прибережних територій суб'єктів адміністративного устрою України на ділянках: Дунай – Керченська протока – на Чорному морі:

Навколоводні птахи.shp - відображає місця гніздувань навколоводних птахів. Дані про місця гніздування та види птахів отримані з Монографії «Численность и размещение гнездящихся околоводных птиц в водно-болотных угодьях Азово-Черноморского побережья Украины» під редакцією Сіохіна В.Д., Київ, 2000р.. Класифікація їхньої чутливості до забруднення нафтопродуктами берегової смуги та морських акваторій проведена за методикою NOAA, «Посібник з індексування чутливості навколишнього середовища»(Environmental Sensitivity Guidelines, Version 3/0, Seattle, Washington, 2000).

Біоресурси.shp - відображає розташування біологічних ресурсів берегової смуги та прибережних акваторій (ареали розповсюдження орнітокомплексів та нересту чи нагулу рибних ресурсів, чутливих до забруднення) за методикою NOAA. Дані отримані з електронних навігаційних карт та літературних джерел.

ESI-індекс.shp - відображає індекс екологічної чутливості берегової смуги до нафтового забруднення відповідно до:

- типу берега (будова, схил, зернистість осадових порід, рівень припливів тощо);
- енергозавантаженість (інтенсивність хвильової дії);
- біологічної продуктивності ділянки узбережжя і чутливості біологічних об'єктів;
- умов природного збереження нафти;
- технічної складності видалення нафти з берегової смуги.

Зі збільшенням вразливості ділянки берегової смуги збільшується ESI-індекс.

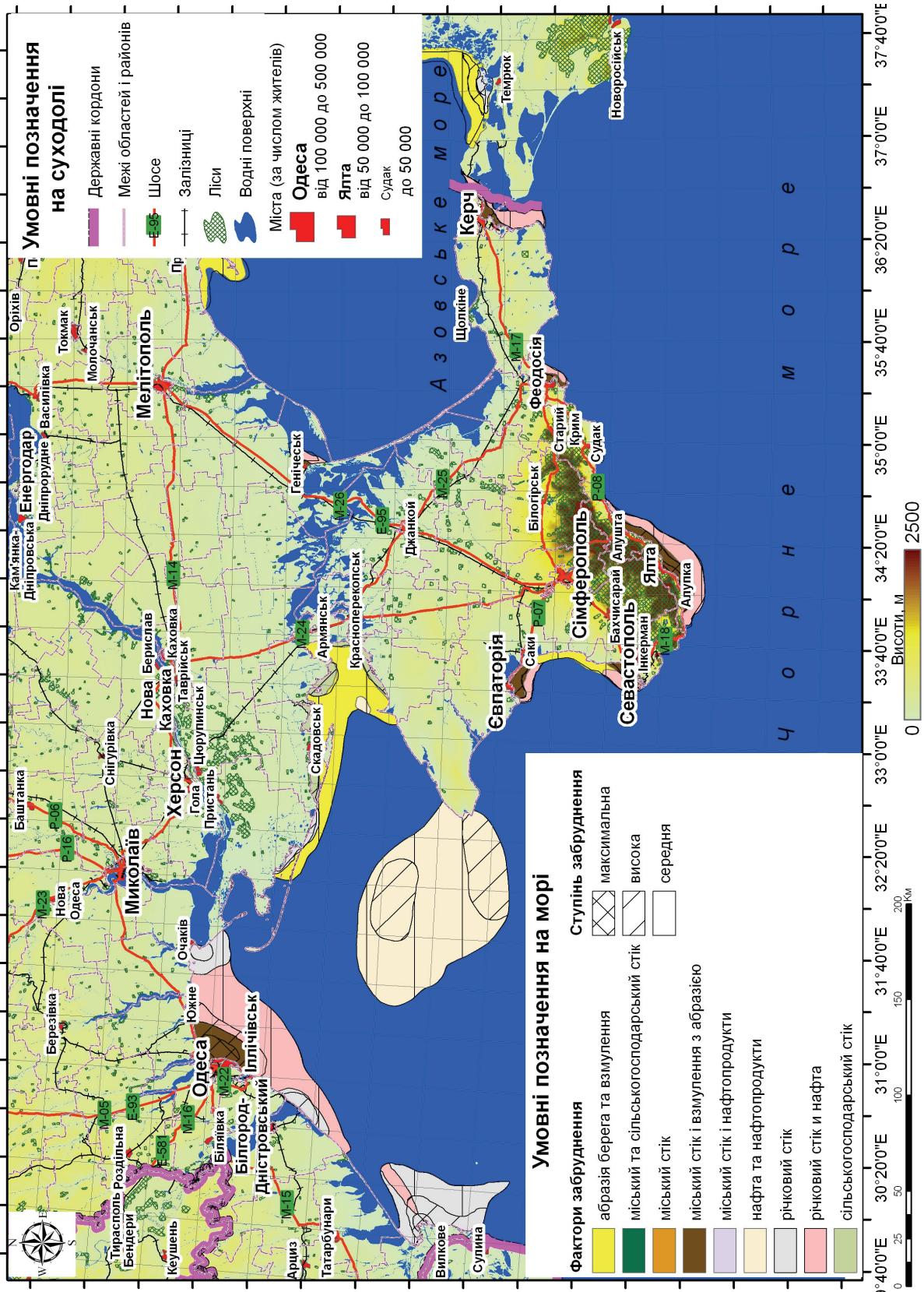


Рис.7.7 Джерела і зони забруднення прибережних вод

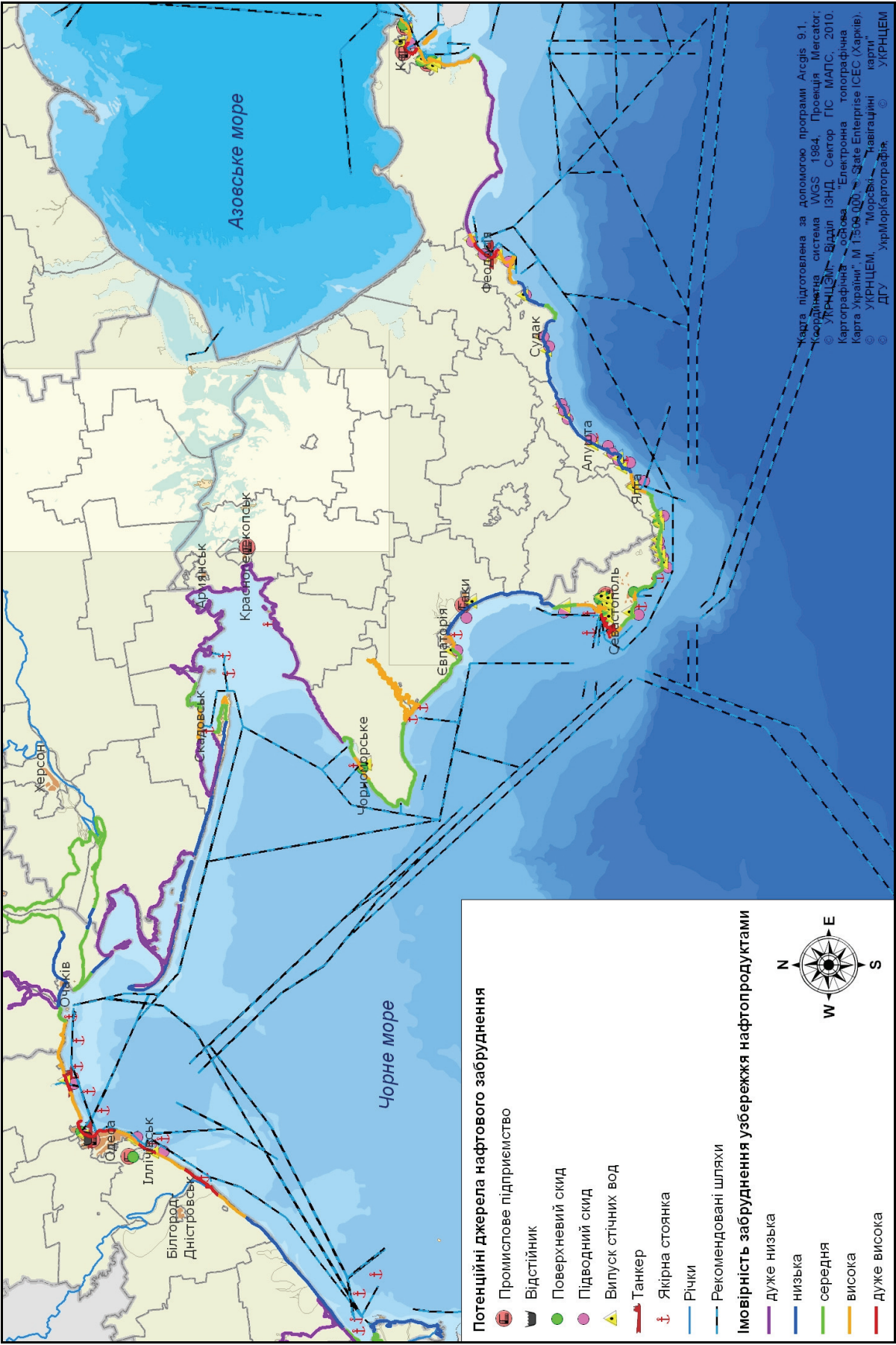


Рис.7.8 – Ризики виникнення нафтового забруднення на узбережжі Чорного моря

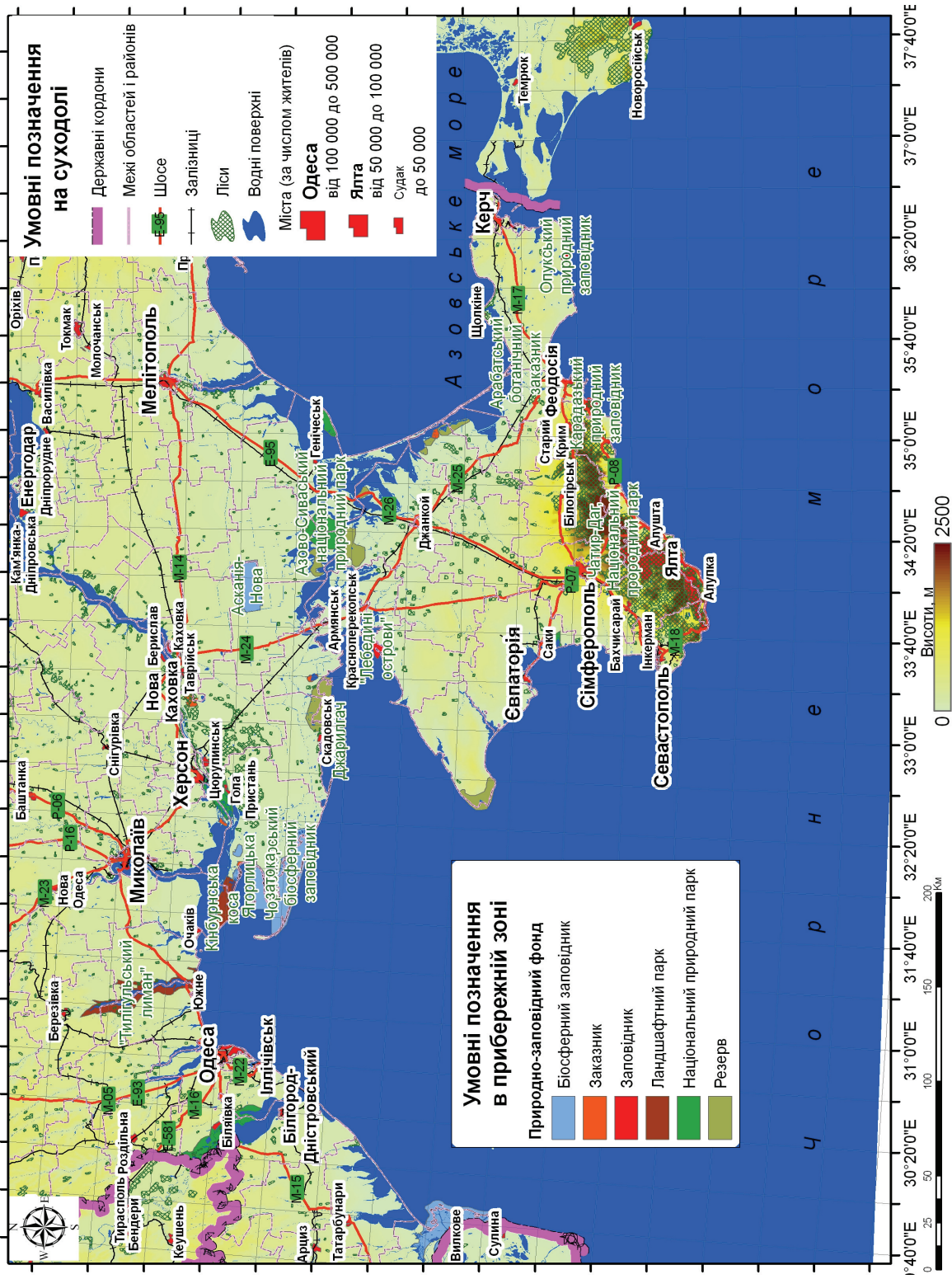


Рис.7.9 - Природно-заповідний фонд узбережжя Чорного моря

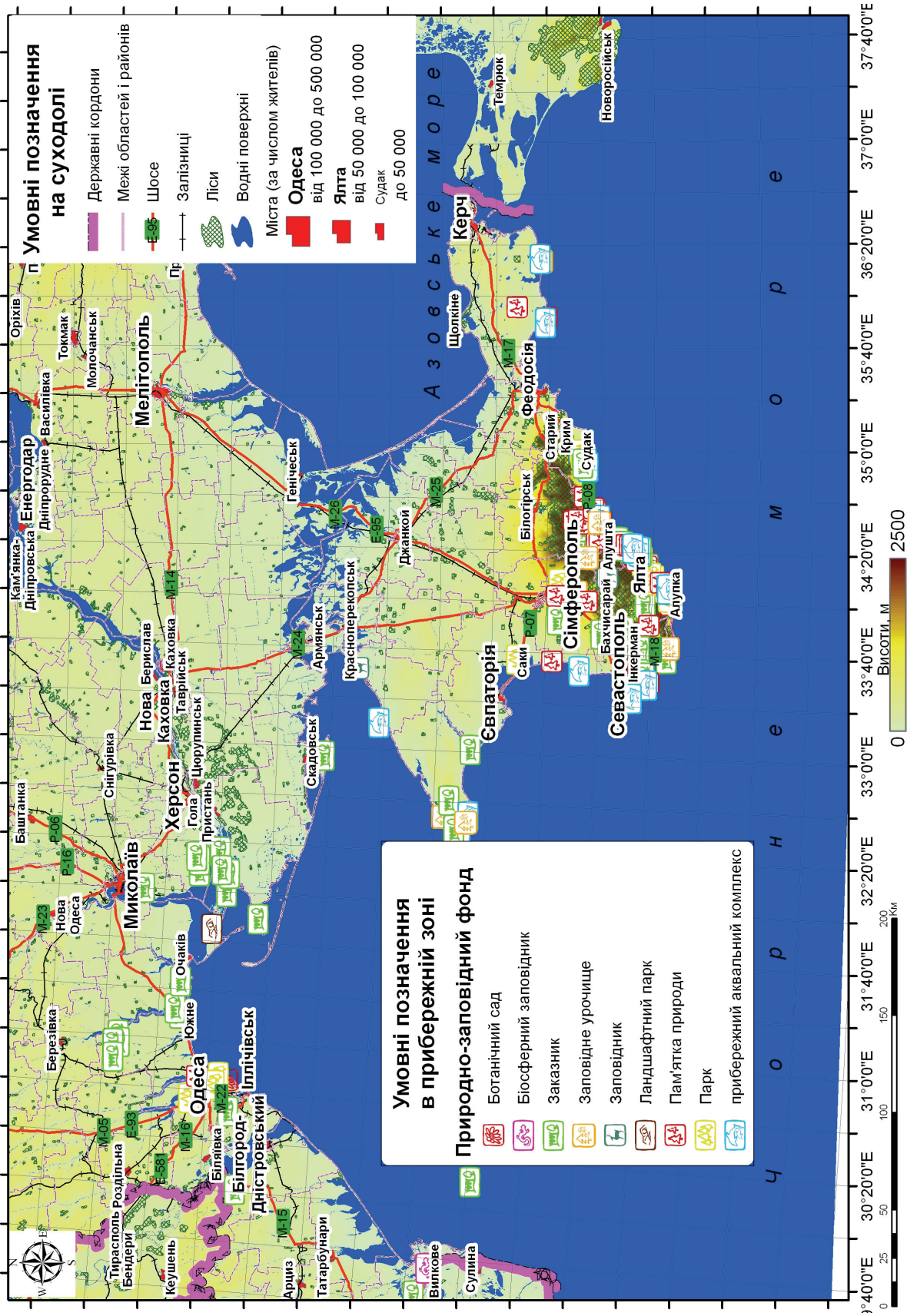


Рис.7.10 -Природно-заповідний фонд узбережжя Чорного моря

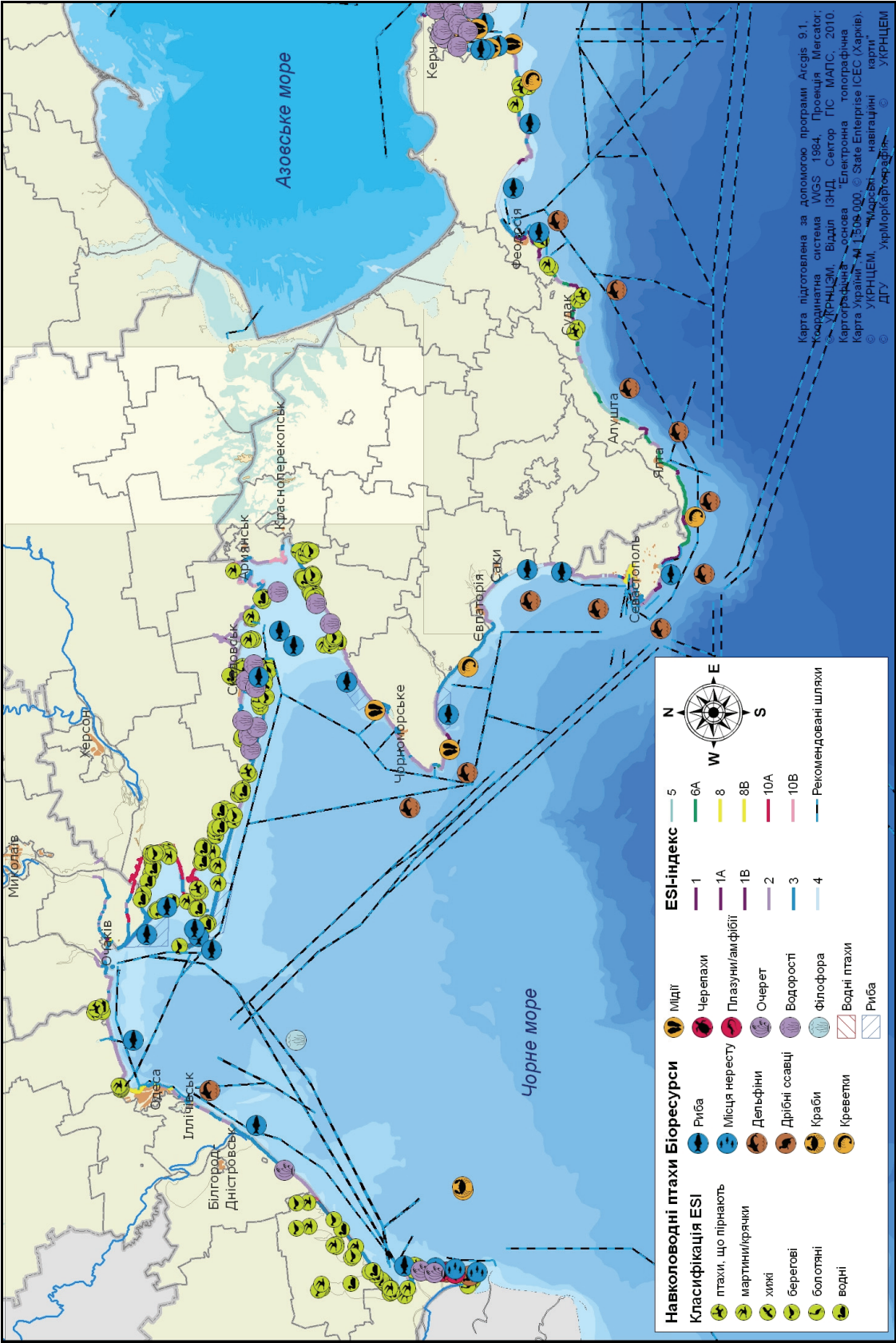


Рис.7.11 - Екологічна чутливість узбережжя Чорного моря до нафтового забруднення

Космічний моніторинг територіальних вод України на Чорному морі

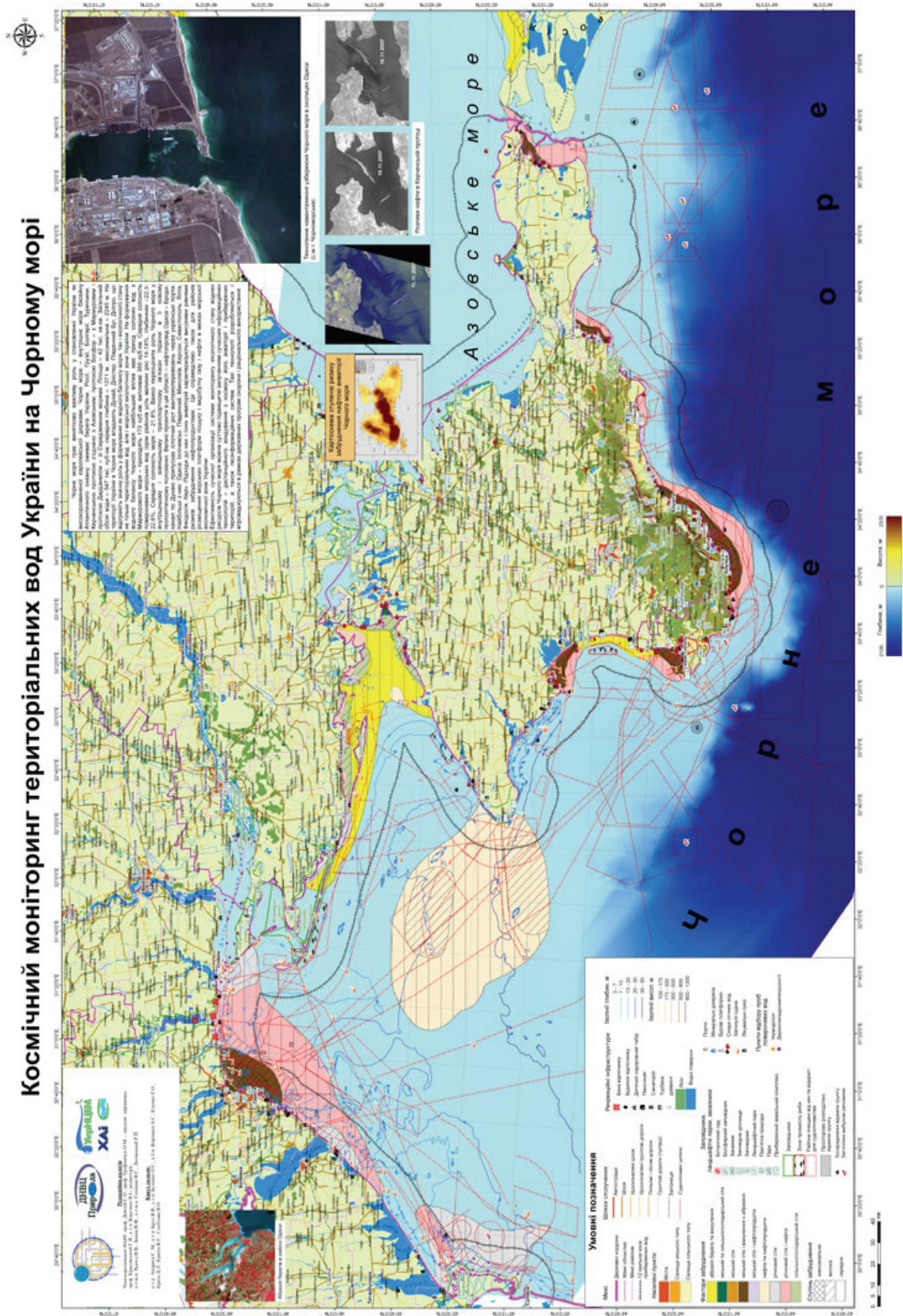


Рис.7.12 - Екологічна карта українського сектору Чорного моря

На основі ГІС – платформи ArcGIS 9.3, топографічної векторної карти України М 1:200 000 і баз атрибутивних даних джерел скидів стічних вод, викидів в атмосферу, дампінгу і т.д. розроблені макети екологічних карт українського сектору Чорного моря на території України, а також прибережних територій суб'єктів адміністративного устрою України на ділянках: Дунай – Керченська протока – на Чорному морі.

На рис. 7.12 наведена електронна версія екологічної карти українського сектору Чорного моря. Наочність її змісту суттєво зростає, коли вона представляється на паперовому носії в М 1:200 000.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

В монографії наведені науково-практичні результати, отримані на основі системного аналізу сучасного стану ДЗЗ/ГІС технологій.

Ці результати полягають в наступному:

- Розроблено науково-методичне забезпечення технології дистанційного моніторингу територіальних вод і морської економічної зони України засобами сучасних національних і міжнародних систем ДЗЗ.
- Створений спеціалізований, постійно актуалізуємий фонд космічних знімків акваторій Чорного моря, а також приморських територій.
- Розроблені векторні карти глибин Чорного моря.
- З застосуванням даних космічного зондування синтезовані картографічні моделі впливу на екологічний стан територіальних вод України природних чинників – річкового стоку і абразії берегів.
- Побудовані моделі локалізації і попередньої ідентифікації забруднень моря з урахуванням функціональних особливостей зорового сприйняття.
- Розроблено механізм сумісного використання дескриптивного підходу до алгебри зображень і операцій із застосуванням алгебри «критеріальних дерев» для формування вектора параметрів кількісних і якісних характеристик якості морських вод.
- Розроблений механізм виявлення чинників, які максимально впливають на динаміку екологічного стану об'єкту космічного зондування з використанням канонів алгебри нечіткої логіки.
- Для формування ознак класифікації забруднень морських акваторій були досліджені взаємні кореляційні функції й автокореляційні функції контурів забруднень і контурів тестових фігур. Результати досліджень дозволили виділити інформативну ознаку - взаємні кореляційні функції контурів досліджуваних ділянок і тестових фігур.
- Для створення ефективного алгоритму класифікації забруднень морських акваторій проведено дослідження інформативності ознак, уточнення розмірності ознакового простору, а також визначення вирішального правила класифікації.
- Інформаційно-статистичний аналіз інформативності структурних ознак дозволив з 10 запропонованих ознак сформувати 8-мірний ознаковий простір для розпізнавання забруднень морських акваторій.
- З метою вибору методу класифікації забруднень морських акваторій був обраний критерій максимальної правдоподібності.
- Для визначення ймовірностей ухвалення правильного рішення розраховувалися матриці теоретичних помилок для всіх досліджуваних ознак. Аналіз отриманих результатів дозволив виділити найбільш інформативні з них. Розраховані значення ймовірностей показали

достатню інформативність векторної ознаки при класифікації забруднень.

- Розроблений алгоритм використовувався при створенні карти територіальних вод України Чорного моря.
- Експериментальні дослідження запропонованого алгоритму класифікації підтверджують ефективність розроблених алгоритмів, що дозволяє використовувати його для підвищення ефективності космічного моніторингу морських акваторій.
- Створений банк даних об'єктів антропогенного впливу на екологічний стан українського сектора Чорного моря.
- Розроблено програмний комплекс тематичної обробки сучасних космічних знімків для завдань ідентифікації процесів забруднення морських вод під дією природних і антропогенних чинників.
- На основі ГІС – платформи ARG/VIEW 9.3, топографічної векторної карти України М 1:200 000 і баз атрибутивних даних параметрів джерел скидів стічних вод, викидів в атмосферу, ділянок дампінгу розроблені макети екологічних карт українського сектора Чорного моря, а також прибережних територій суб'єктів адміністративного устрою України на ділянках: Дунай – Керченська протока.
- Створено макет ГІС картографічної підтримки рішень з питань охорони водних ресурсів Чорного моря від наслідків господарської діяльності на територіях приморських областей України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шнюков Е.Ф., Зиборов А.П. Минеральные богатства Черного моря. Киев, 2004. 280 с.
2. Попов М.О. Шляхи отримання космічної інформації в інтересах національної безпеки та оборони. // Наука і оборона. – 2003. №2 -С.38-50.
3. Попов М.О., Станкевич С.А., Козлова А.О. Удосконалена процедура класифікування багатоспектральних аерокосмічних зображень при оцінюванні біорізноманіття Північно-Причорноморського регіону України // Тезиси докладов международной научной конференции «Фундаментальные исследования важнейших проблем естественных наук на основе интеграционных процессов в образовании и науке». Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2006. -С. 82-83.
4. Попов М.А., Лялько В.И., Подорван В.Н., Сахацкий А.И. Методика классификации природных объектов на многоспектральных космических изображениях на основе последовательного слияния информации // Материалы Второй открытой Всероссийской научной конференции “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”.- М.: ИКИ РАН, 2004, -С. 46-47.
5. Иванов В.А., Миньковская Р.Я. Морские устья рек Украины и устьевые процессы. Учебник в 2-х частях/ НАН Украины, Морской гидрофизический институт. – Севастополь, 2008. 806 с.
6. Бондур В.Г. Комплексный космический мониторинг прибрежных акваторий. – М.: Научный центр проблем аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС», 2005. 12 с.
7. Паламарчук М.М., Загорчевна Н.Б. Водний фонд України: Довідковий посібник / За ред. В.М. Хорєва, К.А, Амієва. – К.: Ніка-Центр, 2001. -302 с.
8. Стан довкілля Чорного моря. Національна доповідь України 1996-2000 роки. Український науковий центр екології моря. – Одеса:«Астропринт», 2002, 84 с.
9. ВОДНИЙ КОДЕКС УКРАЇНИ. (Відомості Верховної Ради (ВВР), 1995, N 24, ст.189) (Вводиться в дію Постановою ВР N 214/95-ВР від 06.06.95, ВВР, 1995, N 24, ст.190).
10. Постанова Кабінету Міністрів України від 20 липня 1996 р. N 815 „Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод”.
11. Красовский Г. Я., Петросов В. А. Введение в методы космического мониторинга окружающей среды. – Харьков: Гос. Аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 1999. – 205 с.
12. Красовський Г.Я. Петросов В.А. Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст. К.: Наукова думка, 2003, – 200 с.
13. Красовский Г. Я. Аэрокосмический мониторинг поверхностных вод. – Л. ВНИИКАМ, 1990. – 230 с.

14. *Красовський Г.Я.* Космічний моніторинг екологічної безпеки водних екосистем з застосуванням геоінформаційних технологій. К.: Інтертехнологія. – 2008. – 486 с.
15. *Голоудин Р. И.* Дистанционные методы эколого-гидрографического изучения и картографирования акватории // Исследования Земли из космоса. - 1995.-№3.-С.115-122.
16. *Кондратьев К.Я., Гительсон А.А., Кейдан Г.П.* Метод дистанционного определения гидрохимических и гидробиологических показателей водных объектов // Докл. АН СССР. - 1987. - 295, № 2.
17. Положення про Державну інспекцію охорони Чорного моря Міністерства охорони навколишнього природного середовища України, затверджено Наказом N 150 від 29.09.2000, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 16 жовтня 2000 р. *vd20000929 vn150* за N 712/4933.
18. *Андреев С.М., Бутенко О.С., Радчук В.В.* Повышение информативности данных космического мониторинга морских акваторий. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях. VI Міжнародна науково-практична конференція. Збірник наукових праць. Київ – Харків-Крим, 2007, -С. 91-96.
19. *Андреев С.М., Бутенко О.С., Радчук В.В.* Структура базы данных геоинформационной модели экологического статуса участников Черного и Азовского морей по данным космических съемок. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях. VI Міжнародна науково-практична конференція. Збірник наукових праць. Київ – Харків-Крим, 2007,-С.60-69.
20. *Андреев С.М., Бутенко О.С., Фролов В.Я., Чорний С.В.* Принципы побудови космічних систем отримання геоінформації. Навчальний посібник. Харків: ХУПС, 2005, 233 с.
21. *Андреев С.М., Крета Д.Л., Радчук В.В.* Розробка картографічних моделей морських акваторій та прибережних територій з застосуванням геоінформаційних технологій. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях. VII Міжнародна науково-практична конференція. Збірник наукових праць. Київ – Харків-Крим, 2008, С. 112-117.
22. *Андреев С.М., Красовський Г.Я., Радчук В.В.* Сучасні технології космічного моніторингу морських акваторій та прибережних територій на прикладі Чорного моря. Современные достижения в науке и образовании. Сб. трудов III Междунар. науч. конф. Тель-Авив (Израиль): ХНУ, 2009. - 251. стр.94-96. -251.
23. *Андреев С.М., Красовський Г.Я., Крета Д.Л., Радчук В.В. Трофимчук О.М.* Структура банків космічних знімків ПС управління охороною морських територіальних вод України Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Сер. География- 2010.-Т.23(63). №2. С..271-279.

24. *Андреев С.М., Красовський Г.Я., Крета Д.Л, Радчук В.В.* Технологія векторизації растрових карт просторових даних глибин Азовського моря. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях. VIII Міжнародна науково-практична конференція. Збірник наукових праць. Київ – Харків-Крим, 2009, 78-87. -514.
25. *Бутенко О.С.* Комплексный подход к дешифрированию снимков по данным космического мониторинга /О.С. Бутенко, С.И. Березина, Г.Я. Красовский // Екологія і ресурси : Зб. наук. праць/ Рада Національної безпеки і оборони України, ІПНБ.- Вип. 1. - Київ., 2008. – С. 23-41.
26. *Малинецкий Г.Г.* Сценарии, стратегические риски, информационные технологии / Г.Г. Малинецкий. – М.: Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, 2002. - 124с.
27. *Попов М.А.* Фотограмметрическая обработка и дешифрирование аэроснимков: учеб. пособие, ч.1. – / М.А. Попов, В.Л. Моисеев – Киев: КВВАИУ, 1991. – 224 с.
28. *Гуревич И. Б., Журавлев Ю. И. , Сметанин Ю. Г.* Построение алгебр изображений на основе дескриптивного подхода. //Доклады 9-й Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов»,- Москва, 1999. – С. 33-36.
29. *Журавлев Ю.И.* Корректные алгебры над множествами некорректных (эвристических) алгоритмов. // "Кибернетика", 1977, N4, С. 14 -21; N6, С. 21 - 27; 1978, N2, С. 35 - 43.
30. *Бутенко О.С.* Анализ данных космического мониторинга при прогнозировании распространения выявленных аномалий /О.С. Бутенко, С.И. Березина, Г.Я. Красовский // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць/ М-во освіти і науки України. - Вип. 2. - Київ., 2009. – С. 23-41.
31. *Бутенко О.С.* Алгебраический подход к операциям с изображениями при разработке единой концепции для создания универсальной многопараметрической геоинформационной системы. / О.С. Бутенко // Системи управління, навігації та зв'язку: Зб. наук. праць / Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління. - Вип.3(11), - Київ, 2009. –С. 36-40.
32. *Чандра А.М.* Дистанционное зондирование и географические информационные системы: учеб. пособие – / А.М. Чандра, С.К. Гош. - Москва: Техносфера, 2008. - 312 с.
33. *Бутенко О.С.* Геометрический фактор космической навигационной системы при определении координат неподвижного наземного объекта радиально-скоростным методом /О.С. Бутенко, Д.В. Голкин, А.С. Гребень // Системи управління, навігації та зв'язку: Зб. наук. праць / Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління. - Вип.1 (5), - Київ, 2008. –С. 12-14.
34. *Скворцов А.А., Кумсков М.И.* Поиск оптимальной разметки вершин помеченных графов в задаче классификации структурных объектов

- //Доклады 9-й Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов», - Москва, 1999. – С. 105-108.
35. Алгоритмы и структуры данных геоинформационных систем: Методические указания для студентов специальности 071903 – «Геоинформационные системы» / Сост. И.В. Варфоломеев, И.Г. Ермакова, А.С. Савельев. Красноярск: КГТУ, 2003, 34 с.
36. Бутенко О.С. Механізм визначення кількісних характеристик рівня концентрації забруднюючих речовин викидами автомобільного транспорту /О.С. Бутенко, В.А.Охарєв // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць/ М-во освіти і науки України. - Вип. 3. - Київ., 2009. – С. 14-33.
37. Бутенко О.С. Механизм определения факторов максимального влияния на распространение нефтяной пленки / О.С. Бутенко, С.И. Березина, С.С. Красницкий // Проблемы розробки і впровадження сучасних інформаційних технологій моніторингу навколишнього середовища та управління екологічною і інформаційною безпекою в регіонах: Зб. наук. праць VIII Міжнародной науково – практичної конференції Нац. аерокосм. ун-та „ХАИ”, - Крим-Київ-Харків, 2009. – С. 162-171.
38. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH/ А.В. Леоненков. – Спб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
39. Бутенко О.С. Сценарий формирования пространства управляющих параметров при анализе возможности перехода различных аномалий в один из типов элементарных катастроф / О.С. Бутенко // Зб. наук. праць ХУПС. Вип.3(21), - Харків, 2009. –С. 200-204.
40. Соколов А.Ю. Применение нечетких множеств в экспертных системах и системах управления: учеб. пособие. – / А.Ю. Соколов. - Харьков: Гос. Аэрокосмический ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 1999. – 64 с.
41. Бутенко О.С. Оценка потенциальной точности космических навигационных определений координат объектов ГИС /О.С. Бутенко, Г.Я. Красовский, А.С. Гребень // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць/ М-во освіти і науки України. - Вип. 3. - Київ., 2009. – С. 114-123.
42. Бутенко О.С. Анализ возможности прогнозирования распространения аномалий по данным космического мониторинга. / О.С. Бутенко // Системи обробки інформації: Зб. наук. праць/ М-во оборони України. – Вип. 5(72). - Х., 2008. - С. 38-44.
43. Бутенко О.С. Механизм построения кратковременного прогноза по априорным данным. / О.С. Бутенко // Системи управління, навігації та зв'язку: Зб. наук. праць / Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління. - Вип.3 (7), - Київ, 2008. –С. 37-40.
44. Бутенко О.С. Усовершенствование методологии прогнозирования динамики объекта / О.С. Бутенко //Радіоелектронні і комп'ютерні системи: Науково-технічний журнал / М-во освіти і науки України, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського „ХАИ”. – Вип. 2(36) – Х., 2009. – С. 155 – 160.

45. Нестационарные структуры и диффузионный хаос / Т.С. Ахромеева, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий, А.А. Самарский - М.: Наука, 1992. – 544 с.
46. *Дмитриев А.С.* Прикладной динамический хаос / А.С. Дмитриев. - Ярославль: ЯрГУ, 1999. – 102 с.
47. *Малинецкий Г.Г.* Новое в синергетике. Взгляд в третье тысячелетие / Г.Г. Малинецкий, С.П. Курдюмов. - М.: Наука, 2002. – 124 с.
48. *Закатов П.С.* Курс высшей геодезии : учеб. пособие – /П.С. Закатов - Москва: Недра. 1976. – 511 с.
49. *Ворона Д.Г., Кумсков М.И.* Программная реализация генетического алгоритма в задаче поиска метрик на структурных объектах. /Доклады 9-й Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов», - Москва, 1999. – С. 154-156.
50. Спектры яркости выходящего излучения и их изменение с высотой наблюдения /В.И.Буренков, И.Я.Гуревич, О.В.Копелевич и др. //Оптические методы изучения океанов и внутренних водоёмов. – Новосибирск: Наука, 1979. - С.41-58.
51. *Бексова О.Д., Копелевич О.В., Судьбин А.И.* Определение оптических свойств морской воды, содержания хлорофилла и взвеси в поверхностном слое океана по спектральным значениям яркости выходящего излучения //Океанология, 1979. - Т.ХІХ. - Вып.2. - С.233-238.
52. *Кондратьев К.Я., Красовский Г.Я., Брук В.В.* Анализ влияния точечных и диффузных источников загрязнения на качество вод по материалам космических съёмок //Дистанционное зондирование загрязнения водоёмов. №1-88. Экспресс-информация. - Л.: Наука. Ленингр. отделение, 1988. - С.22-38.
53. *Бутенко О.С.* Особливості дешифрування об'єктів на прикладі зображення клітин крові людини /О.С. Бутенко, И.Г. Красовская // Екологія і ресурси : Зб. наук. праць/ Рада Національної безпеки і оборони України, ІПНБ.- Вип. 17. - Київ., 2007. – С. 110-137.
54. *Форсайт.* Компьютерное зрение, современный подход. Форсайт, Понс// К: Вильямс, 2004,-926с.
55. *Иванов С.А.* Стохастические фракталы в Информатике / С.А. Иванов // Научно-техническая информация. Сер. 2, 2002. - № 8. - С. 7-18.
56. *Андрєєв С.М., Іващук Б.М.* Особливості навчання візуальному дешифруванню цифрових аерознімків для завдань екологічного моніторингу. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. Збірник наукових праць.–К.:Інститут передових технологій, 2008. Вип.8.– С.12-17.
57. *Розенфельд А.* Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин: Пер. с англ./ А. Розенфельд, Д.С. Лебедев// М.:Мир,1972 .-230 с.
58. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений:В 2-х кн.: Пер.с англ..Кн.1./У. Прэтт // М.:Мир,1982 .-312с.

59. *Фомин Я.А.* Статистическая теория распознавания образов /Я.А. Фомин, Г.Р. Тарловский// М.:Радио и связь,1986 .-264с.
60. *Анисимов Б.В.* Распознавание и цифровая обработка изображений: учебное пособие / Б.В. Анисимов, В.Д. Курганов, В.К. Злобин, М.:Высшая школа,1983 .-295с.
61. *Поздняков Д.В., Кондратьев К.Я.* Дистанционное зондирование природных вод в видимом диапазоне спектра // Исследование Земли из космоса. - 1997- № 2. - С. 3-24.
62. *Слободян В.А.* Автоматизация процесса распознавания видов загрязнений для космического мониторинга морских акваторий / В.А. Слободян // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. – Харьков: Нац. аэрокосм. Ун-т «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 127–131.
63. *Поздняков Д.В., Кондратьев К.Я.* Дистанционное зондирование природных вод в видимом диапазоне спектра. I. Формирование яркости водной поверхности // Исследование Земли из космоса. -1997.№1.-С.3-21.
64. *Гелецян Д.* Векторизация растровых изображений / Д. Гелецян // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н. Филипповича – М.: МГТУ, 1998. – Вып.2.
65. *Фукунага К.* Введение в статистическую теорию распознавания образов / Фукунага К. – М.: Наука, 1979. – 368 с.
66. Математические модели электронных аппаратов и систем /М.Ф. Бабаков, А.В. Попов, М.И. Луханин. - Учеб. пособие. - Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2003. – 109 с.
67. *Бондарев В.Н.* Цифровая обработка сигналов: методы и средства / В.Н. Бондарев, Г. Трестер, В.С. Чернега. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1999, – 198 с.
68. *Кравцов С.Л.* Распознавание классов объектов, расположенных в однородной области изображения / С.Л. Кравцов, И.Н. Мухо // Анализ цифровых изображений. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2002-Вып.1.– С. 79–84.
69. *Слободян В.А.* Формализация структурных признаков загрязнений морских акваторий на примере тестовых фігур / В.А. Слободян // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків, ХАІ, 2007. – № 4 (23). – С. 85–88.
70. *Кравцов С.Л.* Распознавание классов объектов по их контурному представлению / С.Л. Кравцов // Цифровая обработка изображений. – Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2001. – Вып. 5. – С. 170 – 177.
71. *К. Фу.* Структурные методы в распознавании образов / К. Фу. – М.: Мир, 1977. – 320 с.
72. *Слободян В.А.* Исследование информативности тестовых фигур с применением корреляционного анализа / В.А. Слободян // Авиационно-космическая техника и технология.–Харків, ХАІ.–2008.–№ 2(49).–С.89-92.

73. Хан Г. Статистические модели в инженерных задачах / Хан Г., Шапиро С. [пер. с англ.]. М.: Мир, 1969. – 396 с.
74. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Корн Г., Корн Т. – М.: Наука, 1984. – 831 с.
75. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных / Бендат Дж., Пирсол А.; [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
76. Слободян В.А. Алгоритм распознавания загрязнений Черного и Азовского морей / Слободян В.А., Брашеван А.Н. // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків, ХАІ, 2008. – № 2 (29). – С. 85–89.
77. Слободян В.А. Разработка алгоритма классификации типов загрязнений Черного и Азовского морей / В.А. Слободян // VII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях». Тези доповідей. – Київ – Харків – Крим, 2008. – С. 40 – 42.
78. Слободян В.А. Разработка специализированного программного обеспечения для космического мониторинга водных акваторий / В.А. Слободян // V міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми екологічної та техногенної безпеки регіонів». Збірник наукових праць. – Київ – Харків – Крим, 2006. – С.176 – 179.
79. Бондур В.Г., Гребенюк Ю.В. Дистанционная индикация антропогенных воздействий на морскую среду, вызванных заглубленными стоками: моделирование, эксперименты // Исследование Земли из космоса, 2001, № 6, с. 49-67.
80. Бондур В.Г., Литовченко Д.Ц., Старченков С.А. Результаты исследования антропогенных загрязнений прибрежных акваторий по радиолокационным космическим изображениям // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1999, № 3, с. 84-95.
81. Губанов В.И., Рябинин А.И., Симов В.Г. Проблемы балансовой оценки источников загрязнения Черного моря // Диагноз состояния экосистемы Черного моря и зоны сопряжения моря и суши: Сб. науч. тр. (НАН Укр. МГИ: под ред. чл.-корр. НАН Украины В.Н.Еремеева.- Севастополь, 1997. - С. 23-24.
82. Синицина Н.Н., Субботин А.А. и др. Влияние загрязняющих стоков на морские экологические системы Черного моря и поиск их расчета и контроля // Диагноз состояния экосистемы Черного моря и зоны сопряжения моря и суши: Сб. Науч. тр.(НАН Укр. МГИ: под ред. чл.-корр. НАН Украины В.Н.Еремеева. - Севастополь, 1997. - С. 81-83.
83. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Лабутина И.А., Леонтьев О.К., Сафьянов Г.А. Применение многозональной аэрокосмической съемки в исследованиях береговой зоны. Береговая зона моря. Сборник статей / М.: Наука, 1981.
84. Шеко А.И., Круподеров В.С., Дьяконова В.И. Активизация абразии в Крыму Береговая зона моря. Сборник статей / М.: Наука, 1981.

85. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т.IV. Черное море. Вып.3 Современное состояние загрязнения вод Черного моря / Под ред. А. И. Симонова, А. И. Рябина. - Севастополь: ЭКОСИ -Гидрофизика, 1996. - 230 с.
86. *Миронов О.Г.* Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводородами. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 128с.
87. Дистанционное зондирование: количественный подход / Ш.М.Дейвис, Д.Я.Ландгребе, Т.Л.Филлипс и др. - М.: Недра, 1983. - 415 с.
88. The Amoko Cadiz oil spill / Edit. by Wilmot N. Hess. – US Government Print. Office, Washington, D.C., 1978. – 281 p.
89. *Papastergiadou E., Babalonas L.* The relationships between hydrochemical environmental factors and the aquatic macrophytic vegetation in stagnant and slow flowing Waters. 1. Water quality and distribution of aquatic associations // Arch. Hydrobiol. - Stuttgart, 1993. - P. 475-489.
90. *Bukata R.P., Jerome J.H., Kondratyev K. Ya. et al.* Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters. - Boca Raton etc.: CRC Press. 1995.-365p.
91. *Schibe F.R., Harrington J.A.* Remote sensing of suspended sediments: the Lake Chicot, Arkansas project // Int. J. Rem. Sens. - 1992. - 13, № 8. - P.1487-1509.

**Довгий Станіслав Олексійович, Красовський Георгій Якович, Радчук Валентин Васильович,
Трофимчук Олександр Миколайович, Андрєєв Сергій Михайлович, Березіна Світлана Іванівна,
Бутенко Ольга Станіславівна, Вишняков В'ячеслав Юрійович, Крета Дмитро Леонідович,
Клочко Тетяна Олександрівна, Лісовський Річард Йосипович, Слободян Віра Іванівна**

**СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЧОРНОГО МОРЯ**

Наукове видання

Видавництво: ТОВ «Інформаційні системи». 03058, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1, корп. 8.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи ДК № 3351 від 22.12.2008 р.

Коректор В.М.Лисенко

Підп. до друку 10.12.2010 р. Формат 70х100/16. Друк офсет. Ум. др. арк. 21.04. Наклад 500 прим. Зам. № 60.
