

УДК 004.94
№ держреєстрації 0109U002804
Інв. №

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
49000, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19
тел./факс. (0562) 473209; телекс 143457 «AGAT SU»;
E-mail: Shevchsergey@gmail.com

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
д-р техн. наук, проф.

О.С.Бешта

“ _____ ” _____ 2011р.

**ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

**РОЗРОБКА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕГРОВАНОГО
АНАЛІЗУ РІЗНОРІДНИХ ТА РІЗНОРІВНЕВИХ ДАНИХ ПРИ
ГЕОЛОГІЧНИХ ТА ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ
(заключний)**

ГП–418

Начальник НДЧ,
канд. техн. наук, доцент

Р.О. Дичковський

Зав. кафедри геоінформаційних систем,
науковий керівник НДР, д-р техн. наук,
професор

Б.С. Бусигін

2011

Рукопис закінчено 24 грудня 2011 року
Результати роботи розглянуто науково-технічною радою,
протокол № від грудня 2011 року

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник НДР,
головний науковий співробітник,
д-р техн. наук

Б.С. Бусигін
(вступ, висновки, розділи 3,4)

Провідний науковий співробітник,
відповідальний виконавець,
канд. геол. наук

С.Л. Нікулін
(розділи 1, 3, 4)

Старший науковий співробітник,
канд. техн. наук

Т.А. Кузнєцова
(розділ 1)

Науковий співробітник

О.В. Качанов
(розділ 2, оформлення звіту)

Нормоконтроль

Л.С. Шломіна

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 130 с., 56 рис., 10 табл., 4 додатки, 32 джерела.

Об'єкт дослідження – різнорідні просторові дані, методи та алгоритми їх попереднього оброблення та інтегрованого аналізу при вирішенні задач природо- та надрокористування.

Мета роботи – створення теоретичних основ геоінформаційної технології інтегрованого аналізу супутникових та наземних даних, а також основні елементи геоінформаційної системи, що її реалізує.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю створення геоінформаційної технології інтегрованого аналізу геоданих для рішення широкого кола задач геології та геоекології.

У звіті за наведено описання технології у загальному вигляді, надано характеристику її основних етапів. Технологія базується на методиках, методах та алгоритмах обробки та аналізу різнорідних та різнорівневих даних різного походження.

Окремо описані створені елементи геоінформаційної системи, що складається з великої кількості програмних модулів, об'єднаних у функціональні блоки. Приведені відомості про призначення та характеристики всіх розроблених модулів та блоків у цілому. Показані взаємозв'язки між модулями та блоками геоінформаційної системи.

Технологія була опротестована при вирішенні низки практичних задач, пов'язаних з прогнозуванням геологічних об'єктів та ситуацій і показала високу ефективність. У звіті надано інформацію про використання технології і системи для прогнозу аномальних скупчень метену на території одного з шахтних полів Донбасу.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ І СИСТЕМА, ПРОСТОРОВІ ДАНІ, ІНТЕГРОВАНІЙ АНАЛІЗ, ЛІНЕАМЕНТНИЙ АНАЛІЗ, ПРОГНОЗУВАННЯ, РОЗПІЗНАВАННЯ, ШАХТНИЙ МЕТАН.

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУП	6
1 БАЗОВІ ЕЛЕМЕНТИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	8
1.1 Загальні відомості про геоінформаційну систему	8
1.2 Організація даних	10
1.3 Взаємодія ядра системи з функціональними модулями	13
1.4 Стандартний інтерфейс користувача	16
2 ФУНКЦІОНАЛЬНІ БЛОКИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	24
2.1 Блок управління проектами	24
2.2 Блок управління сітками й шарами	27
2.3 Блок фільтрацій	40
2.4 Блок трансформацій	45
2.5 Блок виділення аномалій	54
2.6 Блок обробки векторних даних	58
2.7 Блок кластерного аналізу	63
2.8 Блок розпізнавання	68
2.9 Блок графіки	77
3 ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ІНТЕГРОВАНОГО АНАЛІЗУ РІЗНОРІДНИХ І РІЗНОРІВНЕВИХ ДАНИХ	83
3.1 Загальні принципи функціонування технології	83
3.2 Узагальнена схема технології й функціональна схема геоінформаційної системи	87
3.3 Основні процедури інтегрованого аналізу даних і їхня реалізація в геоінформаційної системі	93
4 ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СКУПЧЕНЬ МЕТАНУ ШАХТНИХ ПОЛІВ	101
4.1 Характеристика ділянки досліджень	101
4.2 Вхідні дані	102

	5
4.3 Застосування технології	103
4.4 Результати прогнозу скупчень метану на шахтному полі шахти ім. Засядько	107
ВИСНОВКИ	122
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	123
ДОДАТОК А Витяг з протоколу засідання кафедри геоінформаційних систем	126
ДОДАТОК Б Витяг з протоколу засідання секції НТР за науковим напрямком	127
ДОДАТОК В Рецензія	128
ДОДАТОК Г Б Витяг з протоколу засідання НТР ДГЕ Дніпрогеофізика	130

ВСТУП

За підсумками виконання даної науково-дослідної роботи були створені необхідні елементи геоінформаційної технології інтегрованого аналізу різнорідних і різнорівневих просторових даних, призначеної для рішення прогностичних геологічних і геоекологічних робіт. Технологія базується на широкому спектрі методів просторового аналізу, у тому числі, на методах розпізнавання образів, обробки зображень, лінеаментного аналізу космічних знімків і фізичних полях, кластерного аналізу, математичної статистики й інших. Технологія дозволяє обробляти й аналізувати дані, представлені у векторній, сітковій і растровій формах.

Паралельно з розробкою технології виконувалося створення елементів її геоінформаційної системи, що реалізує. Це дозволило оперативно виявляти проблемні місця технології й використовуваних алгоритмів і вносити необхідні зміни.

У результаті створені елементи системи, складові частини якої забезпечують інтеграцію растрових і векторних представлень даних: аналітичні, інформаційно-довідкові й вимірювальні функції; обробку космічних знімків і виділення лінійних, кільцевих і дугових структур, фільтрацію двовимірних даних; розрахунок і побудова похідних карт різного типу (растрові, ізоліній, 3D, карти векторів і графіків), дослідження залежностей і статистичну обробку; багатомірне районування, розпізнавання й картографування ситуацій, 2D і 3D візуалізацію результатів, компонування й печатку вихідних документів (карт, таблиць і схем).

Крім того, досвід рішення практичних геологічних і геоекологічних завдань прогнозу дозволив сформувати узагальнену технологічну схему проходження різнотипних даних у рамках технології, що приводить до рішення поставлених прогностичних завдань. Крім того, сформовані часткові, конкретизовані технологічні схеми, що враховують наявність або відсутність певних типів даних (наприклад, свердловинних вимірів, космічних знімків

або гравімагнітних полів), а також специфіку розв'язуваних завдань (рудні, газонафтові, екологічні й т.п.).

Даний звіт присвячений опису розроблених елементів геоінформаційної системи. У ньому надані відомості про основні підсистеми (блоки), модулі, що їх складають, і процеси взаємодії між ними при виконанні різних процедур, що реалізують етапи створеної технології. Наведено схеми проходження даних, як узагальнена, так і часткові, використовувані при рішенні конкретних завдань.

Ефективність геоінформаційної технології й системи продемонстрована на реальному прикладі прогнозування аномальних покладів метану в межах території шахти ім. Засядько (Центральний Донбас) по космічним, наземним і свердловинним даним. Рішення даного завдання дозволяє не тільки одержати додаткове джерело екологічно чистої енергії, але й знизити ризик виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з викидами шахтного газу.

Використання представленої у звіті технології дозволяє суттєво підвищити ефективність інтегрованого аналізу різнорідних і різнорівневих даних при геологічних і геоекологічних дослідженнях, скоротити витрати часу й засобів, і, у цілому, надає фахівцям-дослідникам потужний і гнучкий інструмент вивчення ландшафтів і надр.

1 БАЗОВІ ЕЛЕМЕНТИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

1.1 Загальні відомості про геоінформаційну систему

Створені в рамках робіт технологія й елементи системи інтегрованого аналізу різнорідних і різнорівневих даних дозволяють на загальних методичних принципах вирішувати широке коло задач наук про Землю [1-3]. Система є універсальним інструментом прогнозування й прийняття рішень при пошуках родовищ корисних копалин, районуванні територій, моніторингу, прогнозі екологічних ситуацій і ін.

Технологія базується на методах теорії розпізнавання образів, обробки зображень, геостатистики й просторового аналізу. Технологія реалізує принцип багатоваріантного рішення задач за допомогою імітаційного моделювання й проведення обчислювальних експериментів [1]. Основна увага приділяється встановленню прямих зв'язків між просторовими закономірностями розташування досліджуваних об'єктів і явищ і структурою даних, що їх описують - фізичних полів, картографічних матеріалів, геохімічних ореолів, аерокосмічних знімків, морфологічних і ландшафтних особливостей рельєфу й ін.

Система у своєму кінцевому вигляді має забезпечувати інтеграцію растрових і векторних представлень даних, аналітичні, інформаційно-довідкові й вимірювальні функції; фільтрацію даних; формування нових ознак і побудову похідних карт, дослідження залежностей і статистичну обробку; багатомірне районування, кластеризацію й класифікацію; розпізнавання й картографування ситуацій, різноманітну візуалізацію даних, компонування й друк вихідних документів і ряд інших функцій.

Геоінформаційна система, елементи якої створено у результаті виконання робіт, має модульний принцип побудови. Основна маса розрахункових і службових функцій, підтримуваних системою, реалізовані у вигляді окремих модулів, які мають єдиний користувальницький інтерфейс,

що спрощує взаємодію користувача із системою. Загальна кількість модулів - більше 70-ти.

В основі системи перебуває «ядро» - програмний комплекс, що складається із двох частин. Перша відповідає за виклик окремих модулів, а також обмін даними між різними модулями, що вирішують конкретні завдання обробки й аналізу даних [4]. Друга, вбудована в усі функціональні модулі, управляє потоками даних, забезпечує їхнє зчитування, запис, видалення, базову візуалізацію й найпростіші перетворення (згладжування, заповнення пропусків, нормування).

Така структура системи забезпечує простоту її розширення (додавання нових модулів або функцій ядра) і дає можливість створення на її базі ГІС, призначених для рішення вузькоспеціалізованих задач [5].

У якості вихідних використовуються дані, представлені в сітковій (фізичні поля й геохімічні дані, приведені до регулярної сіткової мережі), векторній (картографічні шари) і растровій (зображення, у т.ч. аерокосмічні) формах. Попередньо дані, представлені на паперових носіях, скануються, геореференціюються і, при необхідності, векторизуються.

Для організації даних використовуються сіткові, векторні й растрові шари. Сітковий шар - двомірний масив чисельних (у т.ч. бінарних) або символічних (текстових) даних, що відносяться до вузлів двовимірної регулярної мережі. Векторні шари дозволяють зберігати просторово-прив'язані векторні об'єкти чотирьох типів - точки, полілінії (лінії), полігони й еліпси, а також довільну атрибутивну інформацію про ці об'єкти. Растрові шари являють собою графічні просторово-координировані зображення (скановані карти, аерофотознімки та ін.).

У якості основної система використовує сіткову модель, при якій інформація про досліджувану ділянку співвідноситься з вузлами регулярної сіткової мережі на земній поверхні. Вибір сіткової моделі обумовлений наступним. По-перше, потенційні геофізичні поля, отримані за результатами майданних спостережень, споконвічно представляються в сітковій формі. По-

друге, растрові дані (у першу чергу, космічні знімки) можуть бути легко конвертовані в сіткову форму, оскільки растрове представлення надзвичайно близько до сіткового. Лише небагато більше складною є операція растеризації, що дозволяє перевести векторні дані (точки, лінії й полігони) у сіткову форму представлення. По-третє, найбільшу кількість операцій, реалізованих у системі, ефективно застосовувати саме до сітковим даних і значно менш зручно - до векторного. До таких операцій належать, наприклад, розрахунок площ, оверлей шарів, різноманітні обчислення в ковзних вікнах і інші.

Разом з тим, система має достатню сукупність засобів для роботи з векторними картографічним шарами, а також графічними зображеннями (растрами), які будуть описані в наступних главах.

1.2 Організація даних

Геоінформаційна система, елементи якої створено, є растрово-векторною та підтримує три моделі даних – сіткову (представлена сітковими шарами), векторну (представлена векторними шарами) і растрову (представлена зображеннями).

Сітковий шар - двомірний масив даних, що ставляться до точок рівномірної сітки (або – решітки, растра, ґріда, матриці). Сіткові шари діляться на числові (утримуючі числові значення) і символічні (що зберігають символи або текстові дані).

Сіткові шари, створювані системою, зберігаються на жорсткому диску в бінарних файлах, які за замовчуванням мають розширення *.lau.

Шари не можуть оброблятися й використовуватися самі по собі - вони мають бути прив'язані до однієї з сіток. Сітками (сітковими мережами) називаються рівномірні просторові решітки, у вузлах якої задані значення шарів. Система використовує решітки із прямокутними комірками.

Фізично сітка являє собою файл із розширенням *.xrst, що зберігає інформацію про характеристики сітки й шари, що належать до неї.

Характеристики сітки спостережень (матриці) наступні:

- Кількість профілів (рядків матриці) - *Ysize*;
- Кількість пікетів (стовпців матриці) - *Xsize* (рис. 1.1). Нумерація починається з 1. Номера профілів ростуть нагору; пікетів - вправо.
- Відстань між профілями (рядками) d ;
- Відстань між пікетами (стовпцями) d (рис. 1.2);
- Географічні (глобальні) координати лівого нижнього вузла (Y_0, X_0).
- Кут повороту матриці α , що відлічується від горизонтальної осі за годинниковою стрілкою.

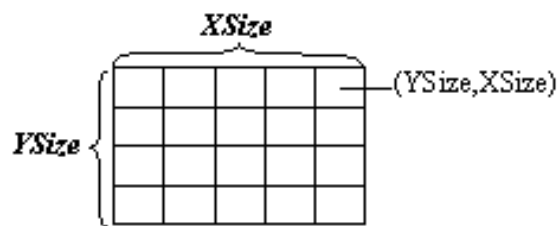


Рисунок 1.1 – Характеристики сітки *XSize* та *YSize*

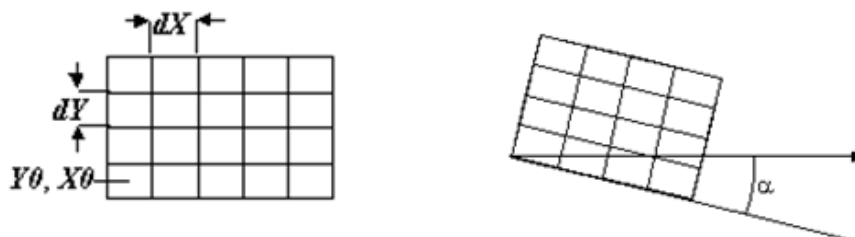


Рисунок 1.2 – Характеристики сітки dX, dY, Y_0, X_0 і кут повороту

Сітки не можуть використовуватися й оброблятися самі по собі - вони повинні бути прив'язані до одному із проектів.

Проект призначений для впорядкування даних. Він зберігає інформацію про растри, деяким чином зв'язаних один з одним (наприклад, що відносяться до однієї території, до одного користувача, до певного періоду часу т.п.).

Фізично проект являє собою файл із розширенням *.xprj, що може зберігатися в довільному місці жорсткого диска.

Загальний принцип організації сіткових даних у геоінформаційній системі показаний на рис. 1.3. Слід зазначити, що проект містить *довільні* сітки, а сітка містить шари-сітки *однакового* розміру.



Рисунок 1.3 – Організація сіткових даних в системі

Векторний шар – файл у спеціальному текстовому форматі, що зберігає полілінії, полігони й точки, які можуть бути створюватися, змінюватися й відображатися створеною геоінформаційною системою.

Векторні файли мають просту структуру. Кожна точка або вузол полігонів і поліліній представляються окремим рядком (записом). Кожний запис характеризується набором стовпців (атрибутів), з яких обов'язковими є три, що зберігають:

1. Координату X
2. Координату Y
3. Ознака початку нового об'єкта (~).

Таким чином., якщо деяка полілінія складається з п'яти вузлів, то в стовпці ознаки початку нового об'єкта перша точка буде мати значення "~", а інші чотири - пробіли або порожнє місце. У першому рядку файлу виводяться назви стовпців. Як роздільник стовпців використовується

табуляція. Зразок gvf-файлу, завантаженого в текстовий редактор типу "Блокнот", показаний на рис. 1.4.

X	Y	Join	Type	Name	
-2.21	-2.36	~	Разломная структура		Разлом A1
1.71	2.01				
5.18	5.70				
12.11	12.75				
20.73	19.02				
33.04	25.17				
45.02	30.66				
52.07	37.26				
57.89	42.30				
33.04	-0.34	~	Разломная структура		Разлом A2
51.51	8.72				
62.93	16.89				
72.66	27.19				
78.26	36.37				
57.11	7.60	~	Разломная структура		Разлом A3
49.94	9.28				
44.68	11.74				
36.40	17.00				
32.37	18.80				
23.31	23.61	~	Разломная структура		Разлом B1

Рисунок 1.4 – Приклад файлу з векторним шаром

Крім сіткових і векторних шарів система підтримує функції завантаження, географічної прив'язки й обробки растрових зображень у розповсюджених форматах bmp, tif, jpg і інших.

1.3 Взаємодія ядра системи з функціональними модулями

Ядро геоінформаційної системи складається із двох частин. Перша з них – запускаюча програма, з якої виконується доступ до всіх модулів і службових функцій системи через головне меню (Ядро I). При виклику конкретного модуля ядро запитує в користувача інформацію про оброблювану сітку і передає її модулю через спеціальний файл параметрів в xml-форматі. У файлі вказуються всі перераховані в розділі 1.2 характеристики сітки, поточні настроювання систем, а також інформація про місце розташування, назві й час створення шарів, що належать до сітки.

Функціональний модуль зчитує отриману інформацію, а після завершення своєї роботи формує аналогічний файл параметрів, оновлений з урахуванням змін, зроблених у ході роботи модуля. Для більшості модулів зміни полягають у додаванні й видаленні шарів, рідше - зміна параметрів сітки.

Схема взаємодії програми, що запускає, з модулями й користувачем наведена на рисунку 1.5

Друга частина ядра (Ядро II) являє собою набір базових процедур по управлінню даними, забезпечуючи їхнє зчитування, запис, видалення, візуалізацію й найпростіші перетворення (згладжування, заповнення пропусків, нормування). Крім того, ядро містить процедури для управління користувальницьким інтерфейсом. Ці процедури вбудовуються в кожний функціональний модуль, що дозволяє уніфікувати їх користувальницький і програмний інтерфейс, а також забезпечити просту розширюваність системи.

Схема взаємодії цієї частини ядра з функціональним модулем і користувачем показана на рис. 1.6. Суть цієї взаємодії полягає в наступному. Користувач, за допомогою запускаючої програми (Ядро I), вибирає його модуль, що цікавить, і оброблювану сітку. Ядро I викликає модуль і передає йому файл із параметрами сітки. Ядро II, убудоване в модуль, зчитує файл параметрів, що дозволяє виконувати з сіткою й даним, що належать до неї, певні дії. Крім того, з модулем взаємодіє користувач, керуючи ходом розрахунків через користувальницький інтерфейс, забезпечуваний Ядром II. Воно, у свою чергу, дозволяє візуалізувати результати розрахунків.

Таким чином, саме Ядро II є ключовою ланкою системи, пов'язуючи разом всі її елементи.

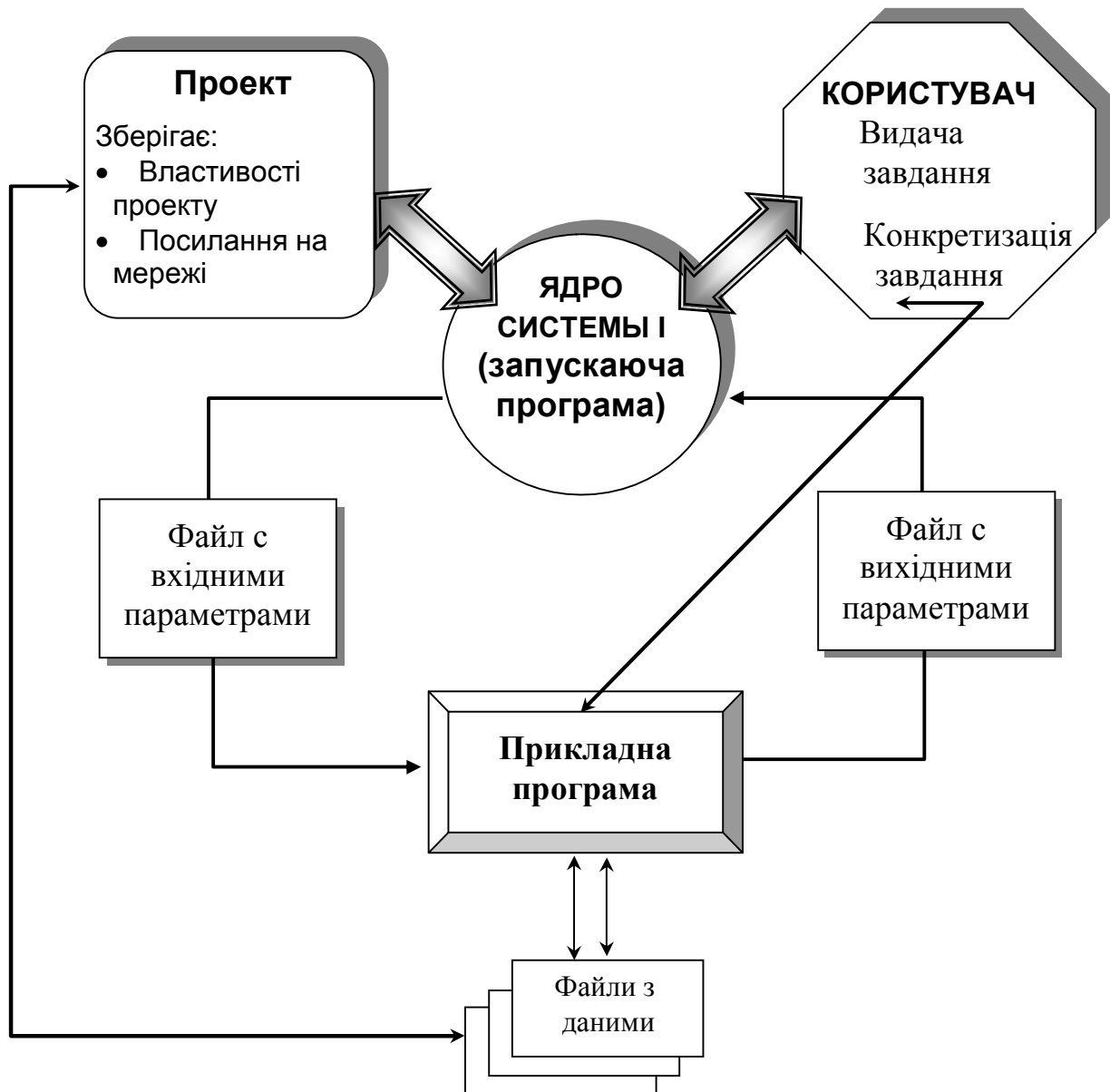


Рисунок 1.5 – Схема взаємодії Ядра I з іншими елементами системи

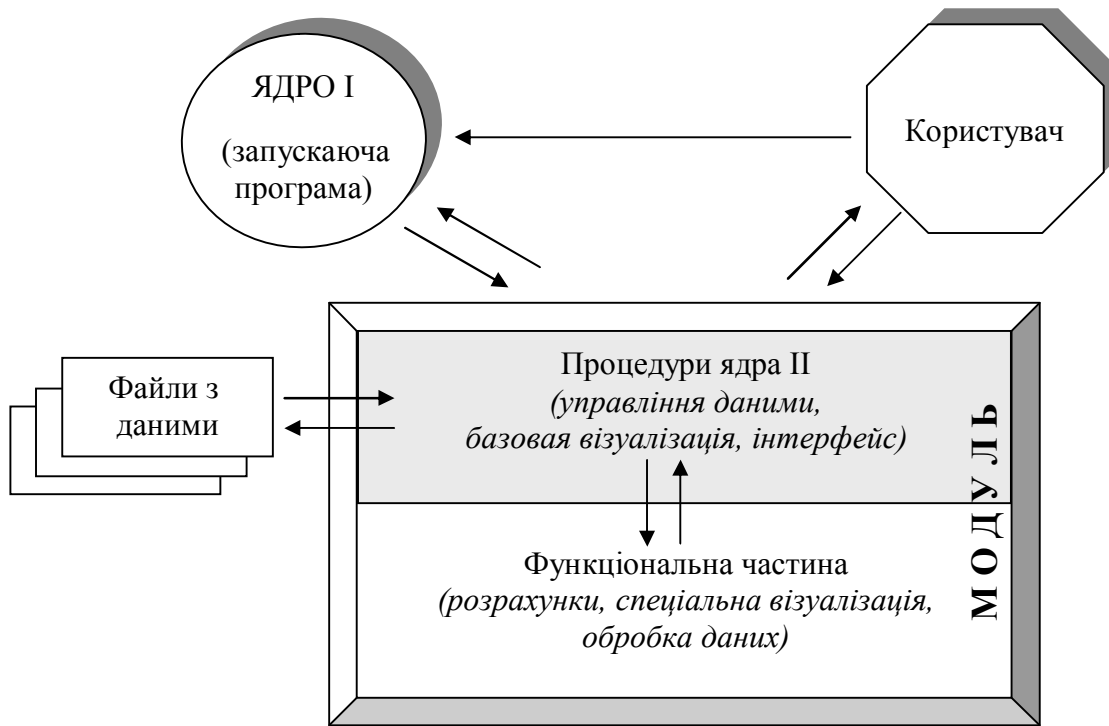


Рисунок 1.6 – Взаємодія функціонального модуля с запускаючою програмою и користувачем

1.4 Стандартний інтерфейс користувача

Завдяки тому, що практично в усі модулі розробленої ГІС як складова частина входить програмний код Ядра II, відповідального за користувальницький інтерфейс і управління даними, більшість модулів мають уніфікований інтерфейс, далі називаний **стандартним**. Нижче описані основні його елементи.

На рисунку 1.7 показано головне вікно одного з модулів, що володіє стандартним інтерфейсів користувача.

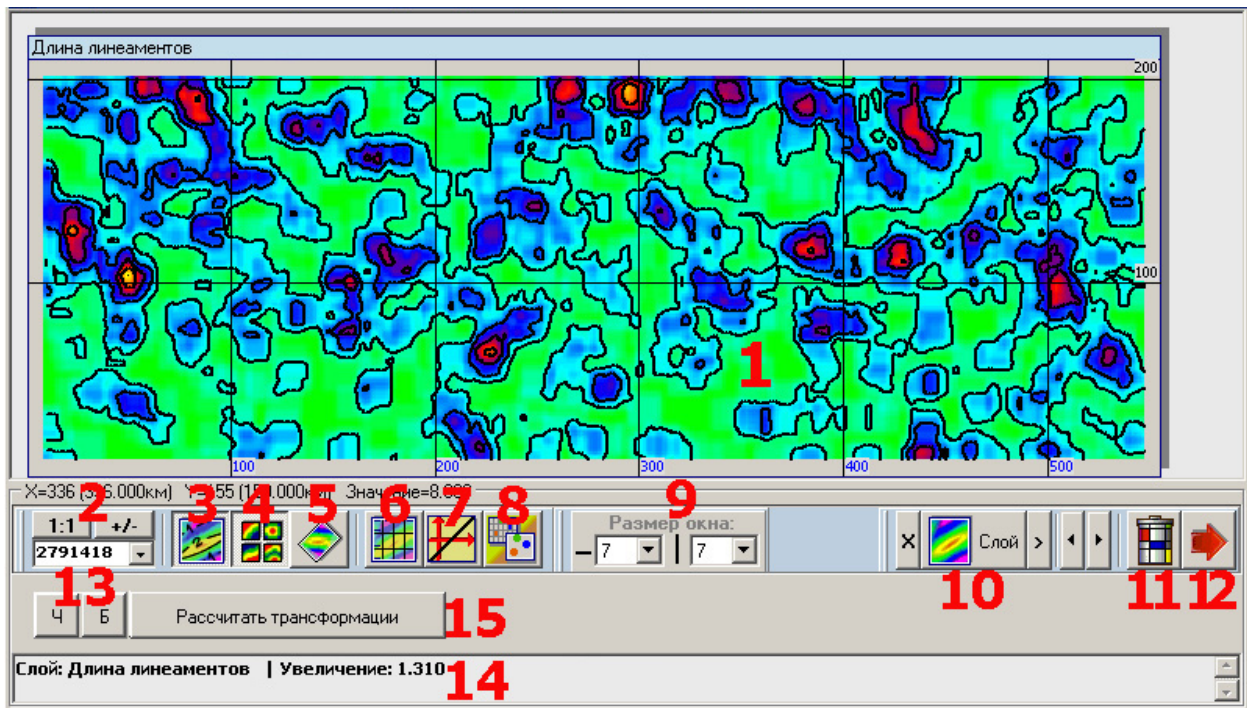


Рисунок 1.7 – Елементи стандартного інтерфейсу користувача

Позначені на рисунку цифрами елементи інтерфейсу мають наступне призначення.

1. **Область перегляду** дозволяє відобразити шари. При пересуванні миші виводиться інформація про значення шарів.
2. Елементи цієї панелі дозволяє управляти відображенням шарів в області перегляду. При клацанні лівою кнопкою миші на значку “+/-” масштаб збільшується, правої – зменшується. Значок “1:1” масштабує виведений шар по розмірах вікна. У віконці вказується поточний масштаб. Для його зміни потрібно ввести бажане число й нажати Enter.
3. Включення/вимикання ізоляцій.
4. Режим мультиперегляду (одночасно виводяться один або кілька шарів).
5. Включення/відключення повороту сітки.
6. Настроювання координатної сітки.
7. Кнопки вибору “**типу палітри**” дозволяють вибрати один з типів палітри - лінійну (універсальну), арктангенціальну (краща для перегляду фонових ділянок полів) і тангенціальну (краща для

екстремальних ділянок полів). Крім того, надається можливість вибору інверсної або прямої шкали, а також використання при одночасному відображенні декількох шарів роздільної або загальної легенди.

8. Вибір режиму відображення комірок сітки у вигляді прямокутників або кругів.
9. Панель “**Вікно**” дозволяє задати розміри ковзного вікна по вертикалі й горизонталі.
10. Кнопка “**Шар**” дозволяє вибрати шари для відображення. Якщо обрано більше одного шару, перемикатися між ними можна за допомогою кнопок **вліво** - **вправо**. Кнопка **X** дозволяє сховати відображувані шари. По натисканні на кнопку **>** виводяться недавно розраховані шари (якщо такі є).
11. Кнопка “**Видалити шари**” дозволяє видалити шари із сіток.
12. При натисканні кнопки “**Завершити**” відбувається вихід з поточного модуля в головне вікно програми.
13. Перемикачі “**Н**” і “**Б**” указують, як варто обробити шари після виконання операції: “**Н**” – провести нормування, “**Б**” – заповнити бордюри, що залишилися після виконання операцій з ковзним вікном.
14. Інформаційне вікно. Служить для виводу поточної інформації, ходу виконання операцій, підказок і т.д.
15. Кнопка “**Розрахувати трансформації**” (назва може відрізнятись) дозволяє провести обчислення, характерні для модуля, у цьому випадку – розрахувати гістограмні характеристики шарів.

Область перегляду (1) має контекстне меню, що дозволяє управляти характеристиками відображення й виконувати обробку відображеного шару (рис. 1.8). Деякі із цих операцій можна виконати за допомогою сполучень клавіш, зазначених біля відповідних пунктів меню.

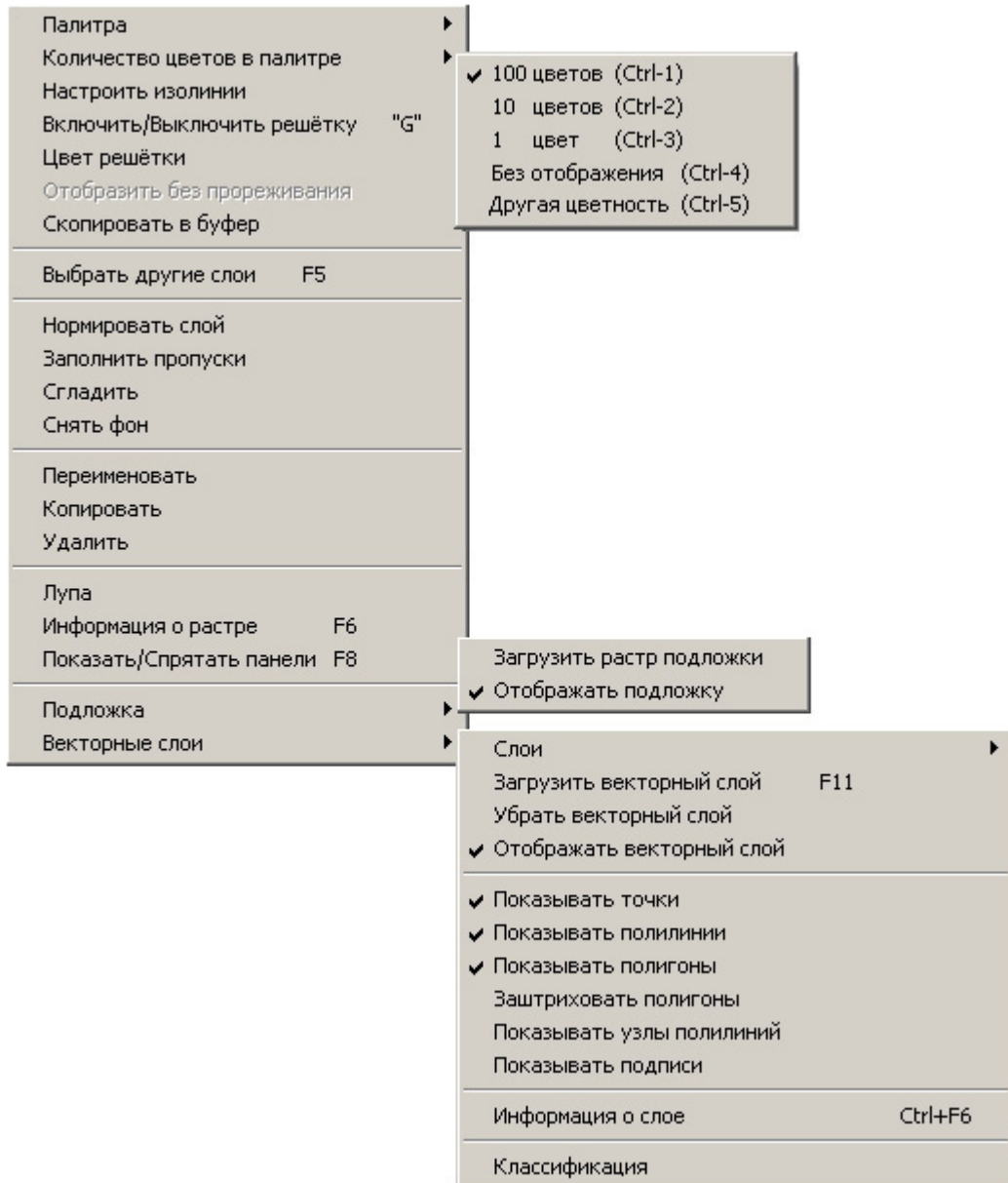


Рисунок 1.8 – Контекстне меню області перегляду

Елементи меню мають наступне призначення.

Опції для управління відображенням поточного шару:

- **“Палітра”** - дозволяє вибрати зі списку тип колірної палітри.
- **“Кількість квітів у палітрі”** - дозволяє відобразити растровий шар, використовуючи 100-, 10- або 1-кольорову палітру. У режимі "Без відображення" шар виводиться прозорим. Вибравши пункт "Інша кольоровість", можна встановити бажану кількість квітів у палітрі.

- **“Настроїти ізоляції”** – дозволяє виконати налаштування ізоляцій, виведених за допомогою кнопки **“Показувати ізоляції”** (панель "Опції").
- **“Включити/виключити решітку”** - управляє виводом границь комірок сітки.
- **“Колір решітки”** – виводить вікно вибору кольору решітки (границь комірок).
- **“Відобразити без проріджування”** – для підвищення швидкодії при роботі з великими сітковими шарами (більше 25 млн. комірок) їх можна виводити на екран із проріджуванням.
- **“Скопіювати в буфер”** – копіює зображення шару в буфер обміну.
- **“Вибрати інші шари”** – виводить вікно вибору шарів для відображення.

Операції над шарами:

- **“Нормувати шар”** - нормує відображений шар на середньоквадратичне відхилення.
- **“Заповнити пропуски”** – заповнює пропуски на поточному шарі.
- **“Згладити”** – проводить згладжування на поточному шарі шляхом осереднення у вікні 3x3.
- **“Зняти фон”** - знімає фон і регіональні аномалії (шляхом обчислення різниці середніх по двох вікнах).
- **“Перейменувати”** - дозволяє дати шару інший псевдонім.
- **“Копіювати”** – створює копію поточного шару.
- **“Видалити”** – видаляє шар, над яким перебуває курсор.

Різне:

- **“Луна”** - вивід лупи, що збільшує, для детального перегляду растрових шарів (неактивна в режимі мультиперегляду).

- **“Інформація про растр”** - виводить вікно з інформацією про параметри растра.
- **“Показати/Сховати панелі”** - ховає службові панелі, дозволяючи використовувати для відображення шару весь екран (повернення відбувається за допомогою кнопки F8).

Растрова підложка:

- **“Завантажити растр підложки”** - завантажує й виводить на карту растрове зображення із графічного файлу (космознімок, скановану карту й т.п.). Попереднє зображення повинне бути просторово прив'язано (використовується модуль "Прив'язка зображень")
- **“Відобразити підложку”** - ховає/показує завантажене растрове зображення

Вивід векторних даних:

- **“Шари”** - виводить список завантажених векторних шарів і дозволяє вибрати активний (у поточній версії системи на карту виводиться тільки активний векторний шар).
- **“Завантажити векторний шар F11”** - дозволяє завантажити rvf-файл із векторним шаром.
- **“Забрати векторний шар”** - вивантажує векторний шар.
- **“Відобразити векторний шар”** - включає/виключає режим відображення векторних шарів на карті.
- **“Показувати точки ”** - відображає точкові об'єкти шару.
- **“Показувати полілінії, полігони”** - відображає полілінійні й полігональні об'єкти шару.
- **“Показувати вузли поліліній”** - відображає вузли полілінійних і полігональних об'єктів шару.
- **“Показати підписи”** - виводить підписи до векторних об'єктів.

- **“Інформація про шар”** - виводить вікно з інформацією про параметри векторного шару.
- **“Класифікація”** - дозволяє виводити векторні об'єкти різного розміру, товщини або кольору залежно від значень їхніх атрибутів.

Для зручності користувачів у стандартному вікні модуля розробленої геоінформаційної системи діють такі гарячі клавіші:

F1 - допомога

Ctrl-F1 - показати цю сторінку допомоги

F5 - відобразити шари

Ctrl-F5 - вивести недавно розраховані шари (якщо такі є)

Shift-Del - сховати відображені шари

F6 - вивести інформацію про растр

F9 - змасштабувати зображення шару до розмірів вікна

F11 - завантажити векторний шар

“+” - збільшити зображення шару

“-” - зменшити зображення шару

“Q” - збільшити розміри ковзного вікна

“W” - зменшити розміри ковзного вікна

“B” - включити/виключити заповнення бордюрів у створюваних шарах

“N” - включити/виключити нормування створюваних шарів

“G” - включити/виключити відображення решітки

“P” - вибрати колірну палітру (для символічних шарів)

“I” - побудувати ізолінії шару

PgUp - відобразити наступний шар

PgDn - відобразити попередній шар

Ctrl-1 - відображати растровий шар, використовуючи 100-кольорову палітру

Ctrl-2 - відображати растровий шар, використовуючи 10-кольорову палітру

Ctrl-3 - відображати растровий шар, використовуючи 1-кольорову палітру

Ctrl-4 - відображати растровий шар прозорим

Ctrl-5 - установити бажану кількість квітів у палітрі

Стандартний користувацький інтерфейс містить у собі також сукупність т.зв. діалогів, призначених для вибору шарів, параметрів і уведення користувачем різноманітних значень.

Діалог вибору шарів. Цей діалог з'являється при виборі шарів для перегляду (після натискання кнопки "**Шар**") або при виборі шарів, над якими треба виконати дії (рис. 1.9).

У вікні діалогу є дві закладки - для числових і символічних шарів. Якщо обрана дія можна виконувати тільки з одним типом шарів, залишається тільки відповідна закладка.

Якщо дія можна виконати тільки з одним шаром, список шарів працює як перемикач, у протилежному випадку можна вибрати одночасно кілька шарів.

Клавіша **F2** дозволяє відзначити всі шари, **F3** - інвертувати вибір, **F4** - скасувати вибір, **ESC** - закрити вікно.

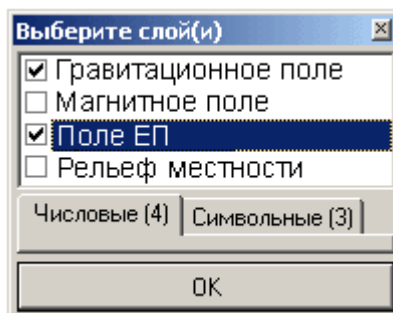


Рисунок 1.9 – Приклад діалогу вибору шарів

Діалог вибору параметрів. Цей діалог дозволяє вибрати параметри розрахунків, наприклад, вибрати види трансформацій або спосіб їхнього розрахунку. Поводження діалогового вікна аналогічно поведженню вікна вибору шарів.

Вікно уведення значення. Це вікно дозволяє ввести значення певного параметра. Діапазон значень параметра і його значення за замовчуванням зазначено в заголовку вікна. Кнопка **ОК** – продовження роботи, кнопка "**Повернути**" – скасування змін, кнопка "**Скасування**" – відмова від подальшого виконання програми.

2 ФУНКЦІОНАЛЬНІ БЛОКИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Окремі модулі системи, залежно від свого призначення, поєднуються у функціональні блоки (підсистеми). Нижче дано їхній опис, а також характеристика кожного з модулів, що сходять до їхнього складу.

2.1 Блок управління проектами

Реалізує набір базових функцій по управлінню проектами - їхньому відкриттю, перейменуванню, збереженню проектів, і ряд інших. Більшість функцій забезпечується програмою, що запускає (Ядром I).

У таблиці 2.1 наведений їхній перелік.

Таблиця 2.1 – Функції блоку управління проектами

Відкрити проект	Відкриття проекту - файлу з розширенням *.XRPJ, що містить інформацію про сітки
Створити новий проект	Створення нового (порожнього) проекту, до якого можна додати нові або вже існуючі сітки
Зберегти проект	Збереження проекту під поточним ім'ям у файлі з розширенням *.XRPJ
Зберегти проект як...	Збереження проекту у файлі з іншим ім'ям
Перейменувати проект	Зміна псевдоніма (внутрішнього ім'я) проекту
Видалення невикористовуваних файлів	Спеціальний модуль, призначений для видалення файлів з невикористовуваними мережами (не підключеними до жодного проекту) і шарами (не підключеними до жодної з сіток)
Plug-ins	Підключення зовнішніх програм

Всі перераховані функції, крім видалення невикористовуваних шарів і мереж (описано нижче), реалізовані в запускаючій програмі (Ядро I).

Модуль видалення невикористовуваних шарів. У системі передбачена можливість відключення від проекту окремих растрів і шарів, без їхнього фізичного видалення з диска. У результаті із часом на диску можуть накопичуватися файли, що містять відключені растри (файли з розширенням *.xrst) і шари (файли з розширенням *.lay). Далі під невикористовуваними растрами розуміються растри, не включені ні в один із проектів, що існують на диску користувача й у його мережевому оточенні. Аналогічно, невикористовувані шари не включені ні в один з наявних растрів. Даний модуль дозволяє знаходити невикористовувані растри й шари й видаляти їх з жорсткого диска.

Нижче наведений опис роботи з модулем (рис. 2.1).

Для початку роботи необхідно вказати область пошуку файлів - окремий логічний диск або всі жорсткі диски, у тому числі й мережеві. Для цього використовуються керуючі елементи **1** і **2**, після чого натискається кнопка **"Пошук" (3)** для початку сканування дисків.

Після закінчення процесу сканування у вікні **(10)** відображаються списки всіх знайдених проектів, сіток і шарів, а також шарів і сіток, на які посилаються існуючі проекти. Для цього потрібно вказати потрібний пункт у вікні **"Навігація по файлах" (4)**. За допомогою кнопки **"Показати структуру" (5)** можна переглянути структуру проектів і растрів, виділених у вікні **(10)**.

Щоб видалити невикористовувані шари, використовується кнопка **"Всі файли на дисках - Невикористовувані шари" (6)** і пункт **"Файли шарів"** у вікні **"Навігація по файлах"(4)**. Після цього з'являється список всіх знайдених файлів шарів; при цьому невикористовувані будуть відзначені "галочками". Можна скасувати вибір тих шарів, які видаляти не потрібно

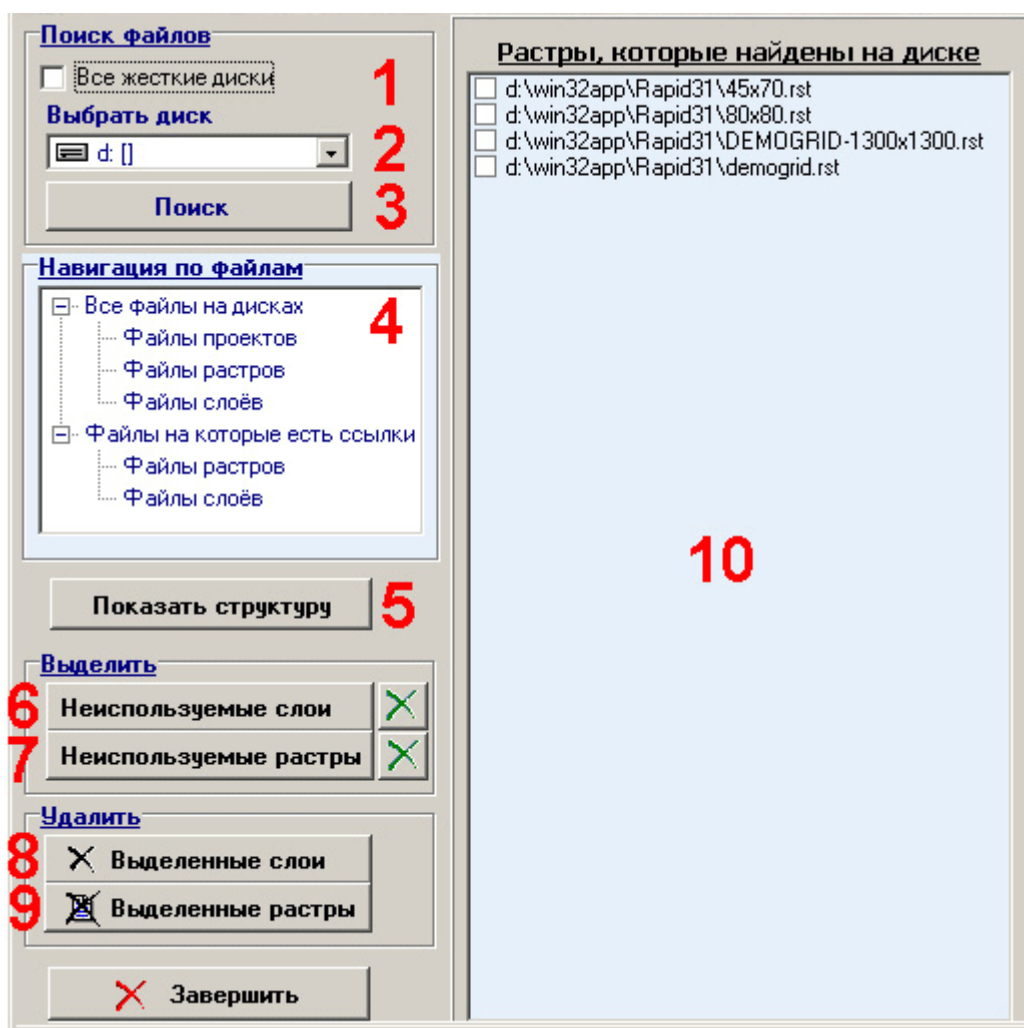


Рисунок 2.1 – Вікно модуля видалення невикористовуваних мереж і шарів.
(опис пронумерованих пунктів надано в тексті)

При натисканні на кнопку **"Виділені шари"** (8), що знаходиться на панелі **"Видалити"**, відзначені "галочками" файли із шарами будуть фізично вилучені з дисків.

Щоб видалити невикористовувані сітки, слугує кнопка **"Всі файли на дисках - Невикористовувані растри"** (7) і, далі, пункт **"Файли растрів"** у вікні **"Навігація по файлах"**(4). Після цього з'являється список всіх знайдених файлів сіток; при цьому невикористовувані будуть відзначені "галочками". Можна скасувати вибір тих сіток, які видалити не потрібно.

При натисканні на кнопку **"Виділені растри"** (9), що перебуває на панелі **"Видалити"**, відзначені "галочками" файли з сітками будуть фізично вилучені з дисків.

2.2. Блок управління сітками й шарами

Призначений для виконання операцій управління сітками й попередньою обробкою шарів. Список модулів, що входять у даний блок, наведений у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Список модулів блоку управління сітками й шарами

Менеджер проекту	Перегляд інформації про сітки й шари, що входять у проект, додавання нових сіток, дублювання або видалення існуючих
Створення нової сітки	Створення нової сітки й імпорт шарів
Прорідити сітку	Зменшення кількості рядків і стовпців сітки в 2, 3, 4... рази.
Змінити параметри сітки	Зміна параметрів сіток - розмірів, кута повороту, кроку й т.д.
Імпортувати/Експортувати шари	Імпорт/Експорт шарів (підтримуються формати системи Surfer, ряд текстових форматів, а також графічні формати BMP і JPEG)
Карта графіків	Вивід карти графіків шару, що може редагуватися
Редагування шарів	Редагування шарів, представлених у графічному й матричному виді
Маніпуляції із шарами	Маніпуляції із шарами (дзеркальні відбиття, нормування, заповнення пропусків, дублювання й ін.)
Перемістити файли із шарами	Переміщення й копіювання файлів, що містять шари сітки
Управління списком шарів	Керування списком шарів (зміна порядку проходження шарів у списку, від'єднання шарів від сітки і їхнє приєднання й ін.)

Перераховані модулі мають наступне призначення.

Менеджер проекту. Дозволяє переглядати інформацію про сітки й шари, що входять у проект, а також інформацію про їх. Дає можливість додавати до проекту існуючі сітки, а також відокремити сітки від проекту. Крім того, модуль дозволяє зробити копію існуючої сітки (дублювати сітку).

Створення нової сітки. Всі сіткові дані системи повинні бути прив'язані до прямокутних регулярних сіткових мереж. Даний модуль призначений для їхнього створення, а також імпорту в них даних з поширених файлових форматів. При завантаженні модуля з'являється **панель створення нової сітки** (рис. 2.2).

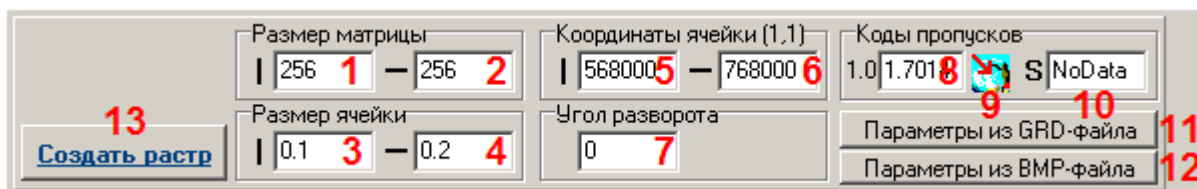


Рисунок 2.2 – Панель створення нової сітки

Елементи управління на панелі мають таке призначення:

1. Уведення розміру матриці в напрямку ПН-ПД (т.е. кількість рядків двовимірної матриці).
2. Уведення розміру матриці в напрямку З-С (т.е. кількість стовпців двовимірної матриці).
3. Уведення розміру комірок сітки (відстань між вузлами регулярної мережі) у напрямку ПН-ПД.
4. Уведення розміру комірки сітки (відстань між вузлами) у напрямку З-С.
5. Уведення вертикальної координати лівого нижнього кута сітки.
6. Уведення горизонтальної координати лівого нижнього кута сітки.
7. Уведення кута розвороту сітки (відлічується за годинниковою стрілкою від горизонтальної осі).

8. Уведення коду пропуску для чисельних даних (надалі буде використовуватися у всіх числових шарах даної сітки).

9. Вставка у вікно **8** коду пропуску дані системи Surfer (1.70141e38).

10. Уведення коду пропуску для символних даних (надалі буде використовуватися у всіх символних шарах поточної сітки).

11. Читання параметрів сітки з GRD-файлу системи Surfer, указанного користувачем.

12. Читання параметрів сітки з BMP-файлу, указанного користувачем.

13. Створення сітки (растра) із зазначеними параметрами.

Після створення растра з'являється панель імпорту даних (рис. 2.3)



Рис. 2.3. Панель імпорту даних

Елементи управління на панелі мають таке призначення:

1. Установка коду пропуску даних, використовуваного в імпортованому файлі (надалі він буде замінений на код, установлений у вікні **8** попереднього рисунка).

2. Вставка у вікно **1** коду пропуску дані системи Surfer (1.70141e38).

3. Імпорт даних з файлів формату Surfer 6/7/8/9 (*.grd).

4. Імпорт даних з текстовий файлів формату *.dat (у файлах зазначені координати, вузлів і значення в них).

5. Імпорт даних з текстових файлів, у яких зазначені тільки значення у вузлах (передбачається, що дані записані по рядках).

6. Імпорт даних їхніх графічних файлів.

7. Імпорт даних з текстовий файлів з роздільниками-табуляторами.

8. Якщо в імпортованих шарах є пропуски, їх можна заповнити натисканням кнопки "**Інтерполювати**".

9. Створення порожнього шару (заповненого кодами пропуску даних).

10. При необхідності можна повернутися до введення параметрів растра натисканням кнопки "**Змінити растр**".

Прорідити растр. Зменшення кількості рядків і стовпців сітки в 2, 3, 4 і більше раз. Проріджені сітки обробляються швидше, однак при проріджуванні губиться частина інформації. Модуль дозволяє прорідити шари растра з певним коефіцієнтом K , тобто буде залишене тільки кожне K -те значення шару. Пропонується два варіанти перерахунку значень існуючих шарів:

- за найближчим значенням
- за середнім значенням.

У першому варіанті використовуються значення з індексами, кратними коефіцієнту проріджування K , у другому - середнє по вікно розміром $K \times K$.

Змінити параметри растра. Модуль дозволяє змінити основні параметри використовуваної сітки - її крок, розмір, кут повороту й ін. При цьому прив'язані до сітки шари будуть відповідним чином перетворені. Модуль підтримує наступні операції: заповнення пропусків у всіх шарах сітки, обрізання країв ділянки (виділення частки ділянки), зміна кроку сітки (відстані між вузлами), поворот і зсув сітки. При цьому зміна сітки приводить до зміни всіх прив'язаних до неї шарів.

Імпортувати/Експортувати шари. Модуль служить для обміну сітковими й точковими даними між ГІС і зовнішнім світом. Підтримується ряд сіткових, растрових і текстових форматів, у тому числі, формати геоінформаційних систем і пакетів обробки космічних знімків.

Модуль може працювати з наступними форматами даних:

- файли формату Surfer версій 6-9 (.grd - текстові й бінарні);
- графічні формати BMP і JPG;
- текстові файли XYZ DAT (у файлах зазначені координати й значення);

4. Графіки сусідніх профілів.

5. Відображення профілів, показані у вигляді растрової карти.

Властивості відображення:

6. Панель опцій. Містить у собі 7 незалежних перемикачів (прапорців), що дозволяють управляти основними властивостями виводу карти графіків.

Серед них:

- **"Сусідні"** - Визначає, чи виводити на екран графіки сусідніх профілів (що не редагуються);

- **"3D вид"** - При включеному перемикачі карта графіків виводиться в тривимірному виді;

- **"Розмах"** - При включеному перемикачі все графіки виводяться в єдиному вертикальному масштабі; при виключеному - масштаб залежить від розмаху значень графіків, відображуваних у цей момент;

- **"Підписи"** - При включеному перемикачі біля кожного вузла графіка, що редагується, виводиться значень поля;

- **"Заповнення"** - Визначає, чи припустиме редагування точок, у яких відсутнє значення поля;

- **"Номера"** - Визначає, чи виводяться як підписи до горизонтальної осі номера пікетів або їхньої координати;

- **"Кольори"** - При включеному перемикачі колір вузлів графіка, що редагується, залежить від значення поля у вузлах.

7. Панель властивостей тривимірного відображення. При включеному перемикачі "Довільний вигляд" Ви маєте можливість установити положення точки зору стосовно карти графіків.

Кнопки редагування:

8. Збільшення значення виділеного фрагменти графіка або окремих вузол. При натиснутій клавіші Control відбувається швидка зміна значення.

9. Зменшення значення виділеного фрагменти графіка або окремих вузол. При натиснутій клавіші Control відбувається швидка зміна значення.

10. Почати креслення кривого графіка вручну. Клацаннями миші вкажіть бажаний зовнішній вигляд редагується кривою, що.
11. Завершити креслення кривого графіка вручну.
12. "Підняти" виділений фрагмент графіка за лівий край.
13. "Підняти" виділений фрагмент графіка за правий край.
14. "Опустити" виділений фрагмент графіка за лівий край.
15. "Опустити" виділений фрагмент графіка за правий край.
16. Розрахувати нові значення для фрагмента графіка, як середні арифметичні по двох сусідніх профілях.
17. Установити нове значення для виділеного вузла.
18. Усереднити значення у виділеному фрагменті графіка.
19. Виконати лінійну інтерполяцію значень поля між початковим і кінцевим вузлами виділеного фрагмента.
20. Зберегти зроблені зміни.
21. Скасувати результати редагування поточного профілю.
22. Перехід до редагування наступні/попереднього профілю.

Редагування шарів. Модуль являє собою графічний і табличний редактор, що дозволяє виконувати різноманітні операції над сітковими шарами. Головне вікно модуля має стандартний інтерфейс, доповнений декількома панелями інструментів. Головна з них - **панель операцій** - має вигляд, наведений на рис. 2.5.



Рис. 2.5. Панель операцій

Інструменти мають наступне призначення:

1. **Скасувати виділення** дозволяє скасувати виділення ділянки на карті, зроблене за допомогою інших інструментів.
2. **Вивести таблицю** - перехід у режим редагування таблиці шару. Повернення в режим редагування карти відбувається по натисканню на кнопку "1" ("Скасувати виділення").
3. **Виділити точку на карті** - дозволяє виділити окрему комірку сітки. Після виділення з'являється панель редагування значень шару.
4. **Виділити лінію на карті** - дозволяє виділити пряму лінію. Після виділення з'являється панель редагування значень шару.
5. **Виділити прямокутну область на карті** - дозволяє виділити прямокутну область карти. Після виділення з'являється панель редагування значень шару.
6. **Виділити полігон на карті** - дозволяє виділити на карті довільну область (завершення виділення - подвійним натисканням миші). Після цього з'являється панель редагування значень шару.
7. **Виділити еліпс на карті** - дозволяє виділити еліптичну область. Після виділення з'являється панель редагування значень шару.
8. **Видалити значення** - дозволяє видалити значення в прямокутній області зазначеного розміру (значення замінюються на код відсутності даних).
9. **"Палець размивання"** - дозволяє згладити значення в прямокутній області зазначеного розміру.
10. **"Поле від сфери"** - додає до шару значення гравітаційного поля від сфери. Її місце розташування вказується мишею на карті, а параметри (а також тип поля) вводяться у вікні, що з'явилося.
11. **"Поле від пластини"** - додає до шару значення гравітаційного поля V_z від вертикальної пластини. Її місце розташування вказується мишею на карті, а параметри вводяться у вікні, що з'явилося.
12. **Модифікувати весь шар** - перехід у режим редагування всього растрового шару.

13.Завантажити векторний шар - дозволяє вивести векторний шар і використовувати його об'єкти як області виділення.

Панель редагування значень шару з'являється після виділення комірок, що редагуються, і має такий вигляд (рис. 2.6):

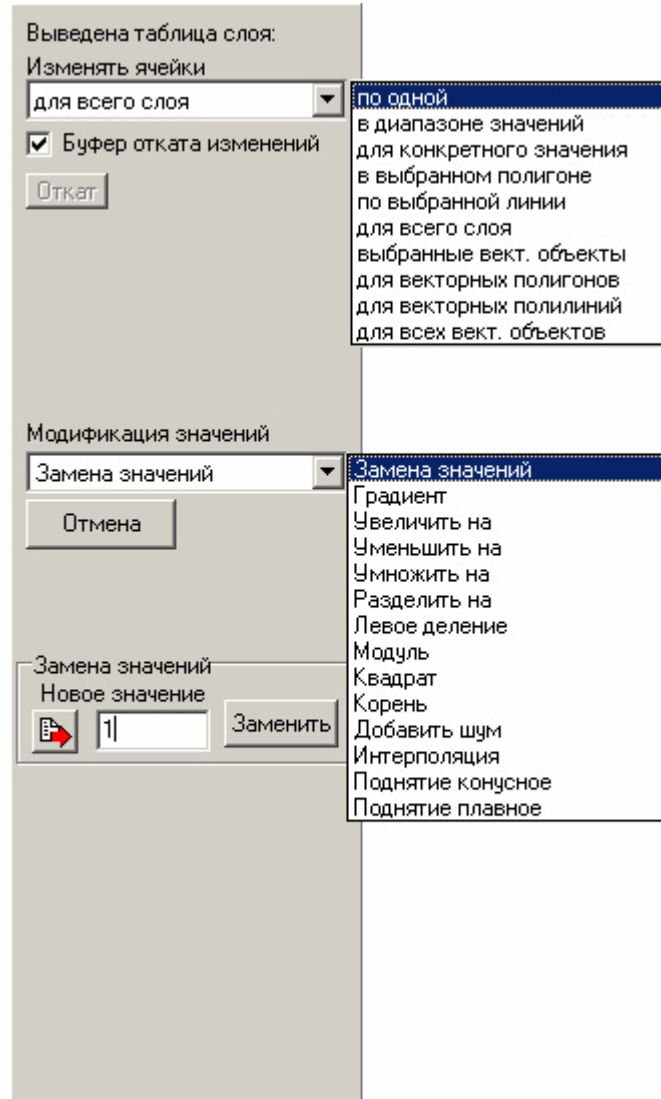


Рисунок 2.6 – Панель редагування значень шару

Випадаючий список "Змінювати комірки" дозволяє визначити принцип відбору змінюваних значень. При використанні вище описаних інструментів відповідний режим вибирається автоматично. У деяких режимах необхідно додатково уточнити параметри виділення у віконцях, що з'являються знизу.

Для виправлення помилок при редагуванні існує можливість відкату (повернення на крок назад). Якщо перед внесенням змін установити опцію

"Буфер відкату змін", то натисканням кнопки "Відкат" можна скасувати останню операцію. Буфер очищається відразу після вибору іншого шару або зміни режиму відображення поточного.

Випадаючий список "Модифікація значень" дає можливість конкретизувати операцію, що має застосовуватися до обраних раніше комірок або областей растрового шару. Залежно від обраного пункту з'являються різні панелі для уведення параметрів операції (на рисунку - панель «Заміна значень»).

Кнопка "Скасування" закриває панель редагування.

Маніпуляції із шарами. Модуль забезпечує виконання наступних операцій:

1. Нормування

При нормуванні значення шару корегуються одним з п'яти способів:

- нормування (на стандартне відхилення): кожне значення шару X замінюється на значення $(X - X_{\text{середнє}}) / (K * \text{Sigma})$, де коефіцієнт K запитується програмою, Sigma – обчислюване середньоквадратическое відхилення значень нормованого шару;
- центрування: кожне значення шару X замінюється на значення різниці $X - X_{\text{середнє}}$;
- нормування на розмах: кожне значення шару X замінюється на значення $(X - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$; де X_{max} та X_{min} – відповідне максимальне та мінімальне значення шару.
- нормування на 2 (нормування на подвоєний розмах з наступним центруванням): кожне значення шару X замінюється на значення $2 * (X - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) - 1$;
- нормування на інтервал $A-B$ (де A і B – числа, що вводяться користувачем). Нормовані шари будуть мати значення від A до B .

У перших двох випадках отримані значення розташовуються навколо 0 (математичне очікування шару обертається в нуль). У третьому випадку всі нормовані значення розташовуються в інтервалі від 0 до 1, у передостанньому - в інтервалі від -1 до +1.

2. Дзеркальні відображення

Дозволяє виконувати дзеркальне відображення шару симетрично вертикальній або горизонтальній осям.

3. Дублювання

Дозволяє зробити копію шару.

4. Заповнення пропусків

Заповнення пропусків на шарі шляхом інтерполяції. Можна вибрати кількість інтерполяційних точок.

5. Додавання шару

Дозволяє додати в растр шари.

6. Конвертація шарів

Конвертація шарів між символьними й числовими форматами. При конвертації із символьного в числовий шар значенням привласнюються номери в порядку їхньої появи в шарі.

7. Відсікання екстремумів

Дозволяє замінити пропусками значення, які не входять у діапазон, що вказується користувачем.

8. Накладення маски

Дозволяє накласти на шар А шар-маску В, що містить пропуски. У результаті новий шар буде містити значення шару А, крім тих комірок, де шар В має пропуски.

Перемістити файли із шарами. Службовий модуль, що дозволяє перемістити всі шари сітки в зазначене користувачем місце на диску (у тому числі, мережевому).

Управління списком шарів. Програма призначена для управління списком шарів, що входять у поточну сітку - зміни порядку проходження шарів у списку, відключення тимчасово невикористовуваних шарів і підключення раніше відключених, перейменування шарів, одержання інформації про їх і т.п. Модуль має стандартний інтерфейс, що доповнений рядом елементів управління (рис 2.7)

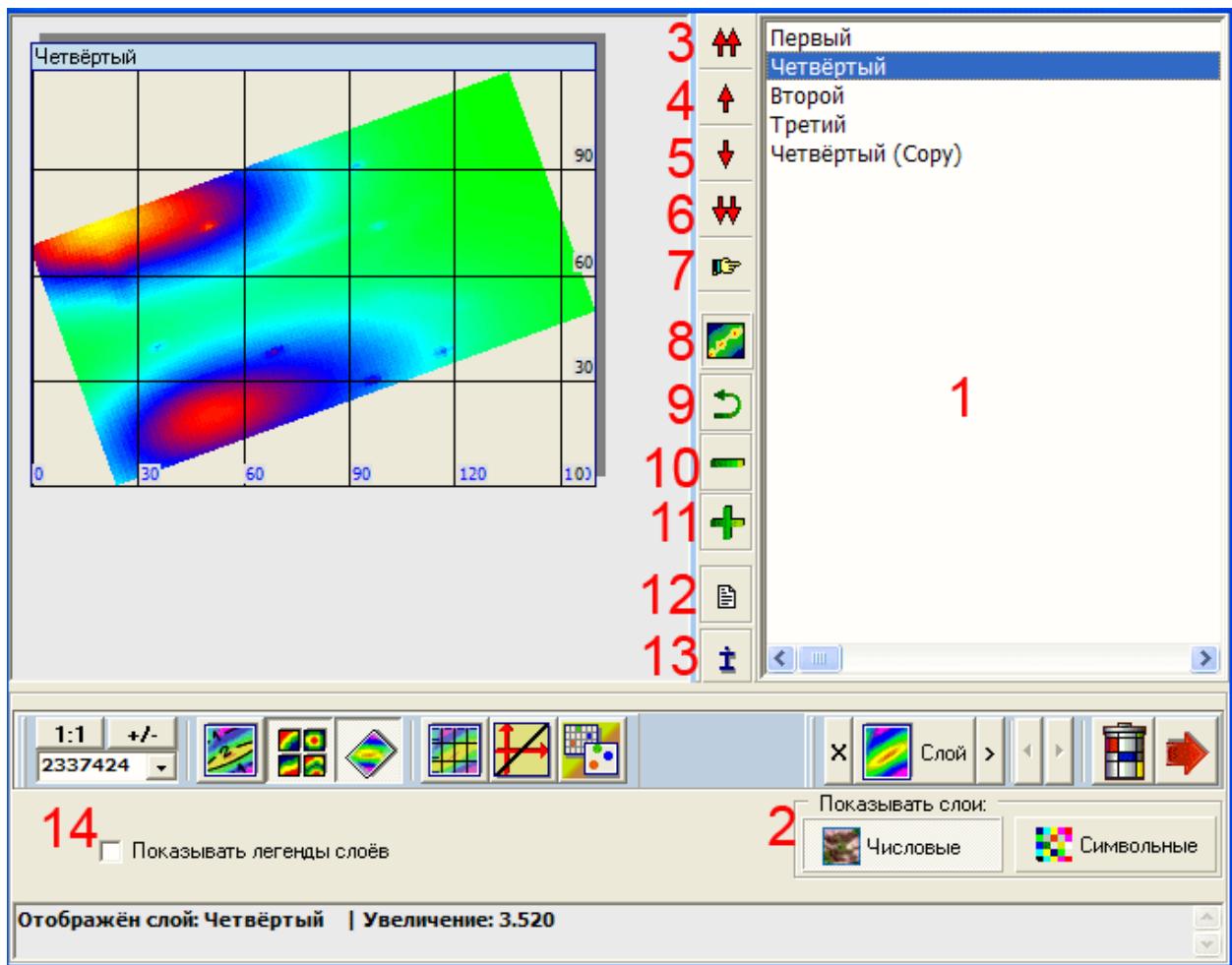


Рисунок 2.7 – Головне вікно модуля «Управління списком шарів»

Цифрами на рисунку позначені елементи управління, що мають таке призначення:

1. Вікно, у якому відображається список шарів поточного растра. Для виконання дій з потрібним шаром необхідно відзначити його в списку натисканням миші.

2. Кнопки перемикання між числовими й символними шарами.
3. При натисканні на дану кнопку обраний раніше шар переміститься на першу позицію в списку.
4. При натисканні на дану кнопку обраний раніше шар переміститься в списку на одну позицію нагору.
5. При натисканні на дану кнопку обраний раніше шар переміститься в списку на одну позицію вниз.
6. При натисканні на дану кнопку обраний раніше шар переміститься на останню позицію в списку.
7. Після натискання на цю кнопку можна клацанням миші по списку указати нову позицію для шару.
8. Кнопка відображення виділеного шару. Кнопка дублюється клавішею "пробіл" (space) на клавіатурі.
9. Натискання на дану кнопку дозволяє перейменувати шар.
10. Кнопка дозволяє відключити шар, тобто усунути його зі списку шарів растра, без фізичного видалення шару з диска.
11. Кнопка дозволяє підключити раніше відключений шар.
12. Натискання на кнопку дає можливість зберегти список шарів растра в текстовому файлі.
13. Виводить інформацію про мінімальне й максимальне значення обраного шару.
14. При відзначеному прапорці зображення шарів виводиться разом зі своєю легендою.

Прив'язка зображень. Модуль дозволяє завантажувати зображення в розповсюджених форматах jpg, tiff, bmp, png і інших і провадити їх геореференціювання шляхом зазначення контрольних точок зображення і їхніх реальних координат. Кількість використовуваних контрольних точок - від 3-х до 15-ти.

2.3. Блок фільтрацій

У даному блоці реалізовані численні фільтри, застосовувані при роботі з геофізичними даними, а також методи, відомі з теорії обробки зображень. Їхнє використання дозволяє зробити попередню обробку вихідних даних, виділити високо- або низькочастотні складових полів, розрахувати головні компоненти й ін. Основне призначення блоку - підготовка даних до виконання подальших прогностичних операцій.

Таблиця 2.3 – Модулі блоку фільтрацій

Фільтрувати/Згладжувати	Фільтрації й згладжування для усунення перешкод, виділення регіональних і локальних складових цифрових полів.
Фільтрація з масками	Фільтрації з масками розміру 3x3. Дозволяють виділити особливості цифрових полів, пов'язані з їхньою орієнтацією.
Згладжування в просторі шарів	Згладжування й заповнення пропусків у просторі шарів. При цьому шар, що редагується, розглядається, як той що залежить від N інших, формуючих N-вимірний простір
Одержання некорельованих шарів	Одержання некорельованих шарів по методу головних компонентів. Сформовані шари мають властивість ортогональності стосовно вхідних
Фільтрація по точках перегинів	Фільтрації за допомогою лінійної або сплайн-інтерполяції. При цьому для інтерполяції використовуються тільки локальні екстремуми шару, що фільтрується
Відновлення даних	Модуль заповнює пропуски в числових шарах за допомогою двовимірної інтерполяції

Продовження таблиці 2.3

Видалення "ураганних" значень	Видалення значень, що сильно відрізняються від навколишніх (найчастіше, у силу помилок введення або вимірювання)
Фільтрація космознімків	Фільтрація космічних знімків для видалення техногенних об'єктів
Обробка зображень	Дозволяє застосувати до числового шару методи обробки зображень - контрастування, еквалізацію гістограм, виділення границь, соляризацію й ін.
Обробка бінарних шарів	Реалізує базові операції з бінарними даними.

Нижче даний опис модулів, що входять у блок фільтрацій.

Фільтрувати/Згладжувати. Виконує найпростіші фільтрації сіткових цифрових даних - згладжування в ковзному вікні, згладжування ваговим фільтром, поліноміальну апроксимацію стачечними поліномами 1-10 ступенів, а також зняття регіонального фону. Крім того, реалізовані алгоритми частотної і медіанної фільтрації, застосовувані до стовпців або рядків числового шару.

Фільтрація з масками. Модуль фільтрації з масками 3x3 призначений для виділення особливостей цифрового поля, пов'язаних з орієнтацією його локальних складових. Модуль дозволяє розраховувати нові чисельні сіткові ознаки як результат фільтрації вихідної ознаки центрально-симетричними (дозволяє обрахувати до 4-х нових ознак), орієнтованими (до 8-мі) і або смуговими (до 4-х) масками. Передбачено використання трьох класів масок: центрально-симетричних, орієнтованих і смугових.

Залежно від уведеного значення кута F_i (у градусах), виконується проста ($F_i=0$) або комбінована ($F_i \neq 0$) фільтрація.

Проста фільтрація по обраній масці M (при $F_i=0$) складається в обчисленні значень $P'(x,y)$ нового шару P' як суми дев'яти добутоків $P(x+i$

$h_x, y+j h_y) M(i,j)$, де h_x і h_y - фіксовані характеристики растра, до якого ставляться вихідний і формований шари, і та j приймають значення $-1, 0$ і 1 .

Комбінована фільтрація: у випадку завдання ненульового кута F_i значення нового шару P' будуть формуватися відповідно до формули:

$$P'(x,y) = P''(x,y) \sin(F_i) + P'''(x,y) \cos(F_i),$$

де значення $P''(x,y)$ і $P'''(x,y)$, відповідно, отримані простою фільтрацією вихідного поля із двома обраними масками одного класу.

Згладжування в просторі шарів. Модуль виконує згладжування чисельних шарів. Преутворений шар розглядається як залежний від N інших шарів (P_1, P_2, \dots, P_N), що становлять N -мірний простір шарів.

Значення нового шару $P'(x,y) = F(p_1, \dots, p)$, де $p_1=P_1(x,y)$, $p_2=P_2(x,y)$, ... , $p=P_N(x,y)$, інтерполюється як зважене середнє деякої кількості відомих значень цього шару $F(a_1, \dots, a)$, $F(b_1, \dots, b)$ і т.д. При цьому ваги визначаються евклідовими відстанями в N -мірному просторі між точкою з вектором координат (p_1, \dots, p) і, відповідно, точками (a_1, \dots, a) , (b_1, \dots, b) і т.д.

Програма пропонує три варіанти згладжування - по 8-мі сусіднім точкам сітки, по еталонних точках, і по всіх точках сітки. У випадку інтерполяції по 8 сусідніх точках у формулі зваженого середнього враховуються значення шарів у точках регулярної сітки, що примикають до поточній.

Одержання некорельованих шарів. Модуль використовує метод головних компонентів. Модуль формує на основі N існуючих шарів, (що визначають деякий " N -мірний ознаковий простір") N нових шарів, що є базисом цього простору, тобто мають властивість ортогональності. При цьому відбираються ознаки з максимальними амплітудами значень, що визначають найбільш характерні особливості спільного поведження вихідних шарів. Ці ознаки називають головними компонентами. Нові шари-ознаки мають властивість ортогональності стосовно вхідним.

Фільтрація по точках перегинів. Модуль реалізує профільну фільтрацію даних (по рядках або стовпцям числової матриці). У її основі - інтерполяція значень, у якій беруть участь тільки локальні мінімуми й максимуми шару. На кожному профілі по точках перегину будується "згладжена" послідовність значень, які й становлять основний вихідний шар. Модуль виконує профільну фільтрацію в одному із двох режимів: з лінійною інтерполяцією й зі сплайн-інтерполяцією.

Також передбачена можливість формування двійкового (бінарного) шару, що визначає підмножину точок, у яких значення вихідного числового шару перевищують відповідні значення на апроксимуючій кривій. Таким точкам привласнюється код 1, іншим - 0.

Таким чином, даний модуль дозволяє не тільки зробити фільтрацію, але й бінарізацію числових шарів.

Видалення "ураганних" значень. Модуль призначений для фільтрації "ураганних" значень («вискоків») - значень, що сильно відрізняються від сусідніх (найчастіше, у силу помилок вимірів або обробки).

Для виконання фільтрації попередньо необхідно встановити ступінь відмінності N значення в точці від навколишніх, достатню для того, щоб значення було визнано «ураганним». Відфільтровуються значення, для яких

$$D \geq N \cdot d,$$

де D - модуль відхилення значення в поточній точці від середнього значення по околиці; d - середній модуль відхилення точок околиці від їх середнього арифметичного значення. N змінюється спеціальним повзунком у межах від 2-х до 15-ти.

Відновлення даних. Модуль дозволяє заповнювати пропуски в числових сіткових шарах за допомогою операції двовимірної інтерполяції, виконуваною методами Крігінга, зворотних зважених відстаней,

найближчого сусіда або сплайн-інтерполяції за допомогою квадратичних сплайнів.

Фільтрація космознімків. Специфічна фільтрація, що дозволяє видалити з космічних знімків техногенні лінійні об'єкти - дороги, інженерні комунікації й т.п., що виділяються різкими перепадами яскравості. Модуль дозволяє знаходити такі зони й замінити їхнього значення на величини, що розраховуються шляхом інтерполяції значень сусідніх пікселів.

Обробка зображень. У блоці реалізована велика кількість методів, відомих з теорії обробки зображень. Ці методи застосовуються, у першу чергу, для обробки космознімків, але, як показує досвід, можуть використовуватися й для обробки растрових карт геофізичних полів і цифрових моделей рельєфу.

Реалізовані наступні операції:

- Контрастування
- Зміна діапазону яскравостей
- Еквалізація гістограми
- Соляризація
- Нерізде маскування
- Медіанний фільтр
- Гаусовський фільтр
- Фільтрації з масками (реалізовано більше 20 масок, у т.ч., для підвищення різкості)
- Виділення границь яскравості зображень за допомогою оптимального детектора Кенні (Canny) [6, 7]

Обробка бінарних шарів. Реалізує базові операції із двійковими шарами - дилатацію й ерозію, стоншення границь, побудова кістяка [8], а також операції, пов'язані з лінеаментним аналізом зображень - виділення

орієнтованих фрагментів границь яскравості, розрахунок їхньої щільності в ковзному вікні й ряд інших операцій.

2.4 Блок трансформацій

Сіткові (мережеві) дані, або з початку представлені в даній формі (геофізичні поля, геохімічні ореоли й т.п.), або наведені до сіткового виду, як показано нижче, можуть бути піддані численним трансформаціям, що обчислюються в прямокутному ковзному вікні. Як свідчить досвід, підвищення результативності як візуального, так і кількісного аналізу геоданих часто може бути досягнуте шляхом обчислення трансформант вхідних наборів даних. При цьому потрібно знаходження таких трансформацій, які підсилювали б питому вагу істотних (для рішення конкретної задачі) факторів, що проявляються в трансформуються даних та, одночасно, придушували б вплив малозначимих. Це дозволяє одержати трансформанти, що мають більш високу інформативність у порівнянні з вихідними й, в остаточному підсумку, підвищити вірогідність прогнозу.

Таблиця 2.4 – Список модулів блоку трансформацій

Диференціальні	Аналоги відомих геофізичних трансформацій (друга вертикальна похідна, дисперсія у вікні, різницеві трансформації й ін.)
Гістограмні	Обчислення статистичних трансформацій, пов'язаних із властивостями гістограм значень шару (у ковзному вікні).
Морфологічні	Обчислення трансформацій, пов'язаних з морфологією аномалій цифрових полів.
Місцерозташування (лінійні)	Трансформації засновані на вивченні положення центральної точки ковзного вікна відносно екстремумів шару

Продовження таблиці 2.4

Місцерозташування (площинні)	Трансформації засновані на вивченні положення локальних екстремумів шару усередині ковзного вікна
Інтегральні	Обчислення трансформацій, що відбивають характер цифрового поля усередині ковзного вікна або на його контурі
Текстурні	Характеристики текстур (по Хараліку)
Кореляційні	Обчислення коефіцієнта кореляції у ковзному вікні, а також автокореляційної і взаємно-кореляційної функції при фіксованому зсуві
Типи особливостей	Обчислення трансформацій, що відбивають тип полінома, яким апроксимуються значення шару усередині ковзного вікна
Форми січних кривих	Обчислення трансформацій, що відбивають форми кривих, утворених при апроксимації перетинів вихідного числового шару площинами
Кривизни	Обчислення трансформацій на основі аналізу поверхні, що апроксимують значення шару усередині ковзного вікна
Фрактальні розмірності	Модуль для розрахунку фрактальних розмірностей вихідного шару
Сегментація зображень	Сегментація зображень методом нарощування областей та структурно-гармонічної сегментації
Арифметичні/ Тригонометричні	Найпростіші трансформації на основі арифметичних і тригонометричних операцій (обчислення \sin , \cos , \exp , \ln , додавання й вирахування шарів і ін.)

Всі модулі мають стандартний користувальницький інтерфейс, і єдиний принцип роботи. Нижче наведений опис трансформацій, що обчислюються.

Диференціальні – аналоги відомих геофізичних трансформацій. Для їхнього одержання виконується апроксимація значень у вікні поліномом другого ступеню $U(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2$. Його коефіцієнти $a_1 - a_5$, знайдені методом найменших квадратів, служать для одержання конкретних трансформант, серед яких:

- горизонтальна похідна по осі X: $D_{(1)} = a_1$;
- горизонтальна похідна по осі Y: $D_{(2)} = a_2$;
- модуль змішаного горизонтального градієнта: $D_{(3)} = (a_1^2 + a_2^2)^{1/2}$;
- напрямок змішаного горизонтального градієнта: $D_{(4)} = \text{arctg } a_2 / a_1$;
- друга вертикальна похідна: $D_{(5)} = 2(a_4 + a_5)$;
- різниця між середніми значеннями по парі вікон: $D_{(6)} = D_{(1)}^n - D_{(1)}^m$, де n, m – розміри околиці, $n \neq m$.

Також можуть розраховуватися такі характеристики як середнє значення, дисперсія й середньоквадратичне відхилення, трансформація Саксова-Нігарда, середнє суми квадратів відхилень поля від поверхні апроксимуючого полінома й ін.

Гістограмні – статистичні трансформації, пов'язані із властивостями гістограм значень ознаки. Для їхнього одержання для сукупності значень вихідного сіткового шару усередині заданого вікна будується гістограма, що має 7 стовпців з абсцисами центрів $x_1 = \text{Min} + d/2$, $x_2 = \text{Min} + 3d/2$, ... $x_7 = \text{Min} + 13d/2 = \text{Max} - d/2$, де Min і Max – найменше й найбільше значення вихідні шари на вікні, $d = (\text{Max} - \text{Min})/7$. Значення шарів першої групи визначаються як відносні висоти h_1, h_2, \dots, h_7 її стовпців; значення статистик - параметри гістограми:

- середнє: $G_{(1)} = \Sigma [h_j x_j] = h_1 x_1 + h_2 x_2 + \dots + h_7 x_7$;
- дисперсія: $G_{(2)} = \Sigma [h_j (x_j - G_{(1)})^2]$;
- коефіцієнт асиметрії: $G_{(3)} = \Sigma [h_j (x_j - G_{(1)})^3] / G_{(2)}$;
- коефіцієнт ексцесу: $G_{(4)} = \Sigma [h_j (x_j - G_{(1)})^4] / G_{(2)}^2 - 3$;

- енергія: $G_{(5)} = \Sigma [h_j^2]$;
- ентропія: $G_{(6)} = -\Sigma [h_j \ln(h_j)]$.

Текстурні – характеристики текстури, що обчислюються по матрицях суміжності значень ознаки й оцінок функції варіограми. Як ознаки текстури зображення можуть виступати двовимірні статистичні характеристики або, що ті ж саме, статистики другого порядку [9, 10]. Вони, на відміну від одномірних статистичних характеристик, що працюють із вектором чисел, застосовуються для обробки просторових даних, представлених у вигляді двовимірного масиву. Для розрахунку текстурних характеристик часто використовуються значення елементів матриці спільної появи (МСП) – квадратної матриці розміру $m \times m$, де m – кількість градацій яскравості зображення, для якого виробляється побудова матриці. Значення P_{ij} МСП – це абсолютна або відносна кількість пар елементів фрагменту вихідного зображення, розташованих друг від друга на відстані δ в напрямку θ , значення яскравості яких відповідно i, j у тому випадку, якщо МСП – асиметрична, i, j або i, j у випадку, якщо МСП – симетрична.

Серед характеристик МСП можна відзначити наступні:

$$\text{Контраст: } CON = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (i-j)^2 P_{\delta\theta}(i, j)$$

$$\text{Другий кутовий момент (енергія): } ASM = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m [P_{\delta\theta}(i, j)]^2$$

Коефіцієнт кореляції рядків і стовпів МСП:

$$COR = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m [ijP_{\delta\theta}(i, j)] - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y},$$

де μ_x, μ_y й σ_x, σ_y – середні значення й дисперсії, обчислені для рядків і стовпців матриці.

Схема обчислення текстурних ознак наведена в розділі 3.

Морфологічні – трансформації, що відбивають морфологію аномалій поверхонь, утворених значеннями сіткового шару усередині околиці. Для їхнього одержання у квадратній околиці (вікні) проглядаються горизонтальна, вертикальна й дві діагональні осі, що проходять через центральну точку. Їм ставляться у відповідність 4 нових трансформанти, що представляють коди «особливостей» квадратичного поліному $p(t) = at^2 + bt + c$, що апроксимує значення вихідної ознаки у вікні уздовж відповідної осі.

Особливості полінома кодуються цифрами від 1 до 5, при цьому можливо кодування як з урахуванням напрямків осей, так без нього.

А) з урахуванням напрямку:

Код 1) $a = 0, b > 0$ – зростання,

Код 2) $a = 0, b < 0$ – убутання,

Код 3) $a = 0, b = 0$ – константа,

Код 4) $a > 0$ – наявність мінімуму,

Код 5) $a < 0$ – наявність максимуму;

– інваріантно напрямку:

Код 1) $a = 0, b \neq 0$ – зростання/убутання,

Код 2) $a = 0, b = 0$ – константа,

Код 3) $a > 0$ – наявність мінімуму,

Код 4) $a < 0$ – наявність максимуму.

У другому випадку замість чотирьох характеристик можна одержати одну - інтегральну, що зіставляє кожній четвірці кодів новий унікальний код.

Місцерозташування (площинні) – трансформації, засновані на вивченні положення локальних екстремумів усередині ковшного вікна. Їхнє обчислення передбачає апроксимацію значень у вікні ступеневим поліномом другого ступеня виду

$$U(x) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2,$$

коефіцієнти якого знаходяться методом найменших квадратів. Далі для точок (x_0, y_0) , у яких можлива наявність екстремуму, тобто

$$\begin{cases} 2a_4x + a_3y + a_1 = 0 \\ a_3x + 2a_5y + a_2 = 0 \end{cases} \Rightarrow (x_0, y_0)$$

обчислюється визначник матриці Гессе:

$$\Delta(x_0, y_0) = a_4a_5 - a_3^2$$

При цьому якщо $\Delta > 0$, це означає, що (x_0, y_0) – точка екстремуму (у випадку $2a_4 > 0$ – мінімум, при $a_4 < 0$ – максимум); якщо $\Delta < 0$ – екстремум відсутній, а при $\Delta < 0$ виконується додаткове дослідження.

Після знаходження точок мінімуму й максимуму обчислюються відстані до них від центральної точки околиці по осях X і Y. Знайдені відстані формують 4 нових трансформанти. Крім того, можуть бути обчислені довжини відрізків, що з'єднують центральну точку з екстремумами, а також азимути цих ліній.

Місцерозташування (лінійні) – трансформації, засновані на вивченні положення центральної точки ковзного вікна, що має одиничний вертикальний або горизонтальний розмір товщиною в 1 комірку сітки, відносно екстремумів ознаки. Для розрахунків виконується апроксимація значень у вікні одномірним поліномом третього ступеня й обчислюються відстані до його особливих точок.

Інтегральні – трансформації, що відбивають характер цифрового поля усередині ковзного вікна або на його контурі. При цьому обчислюються значення функціоналів, що відбивають характер вихідного поля на контурі або на всій околиці.

У контурному варіанті значення, що відноситься до центру вікна, розраховується по формулі

$$R = \Sigma |F_i - F_j| / N,$$

де $\Sigma |F_i - F_j|$ – сума абсолютних величин різниць між значеннями вихідного поля в певних парах точок (i, j) , а N - кількість таких пар точок. Варіанти вибору пара точок:

- усі пари діаметрально протилежних точок на границі (контурі) вікна (наприклад, для вікна 3 на 3 точки, контур містить 8 точок, отже, шуканих пар - 4);
- усі пари сусідніх точок на контурі (для вікна 3 на 3 - таких пар - 8);
- пари, що складаються із точки на контурі й центральній точці вікна (для вікна 3 на 3 - таких пар - 8);
- усі пари точок на контурі (для вікна 3 на 3 - 28 пар).

У площинному варіанті значення, що відноситься до центру вікна, обчислюється по одній із двох формул:

$$R1 = \text{Sum}(|F_{ij}-F_o| R_{ij}) / \text{Sum}(R_{ij}) \text{ або}$$

$$R2 = \text{Sum}(F_{ij} R_{ij}) / \text{Sum}(R_{ij}) - \text{Sum}(F_{ij})/N,$$

де i, j – нумерація точок у вікні (по вертикалі й по горизонталі), F_{ij} – значення вихідного поля в точці (i,j) вікна, F_o – його значення в центральній точці вікна, R_{ij} – відстань від точки (i,j) до центра вікна, зведена в заданий ступінь (1/2, 1 або 2), N – кількість точок у вікні (кількість доданків).

Результати інтегральних трансформацій інваріантні щодо перетворень типу зсуву, повороту, розтягання й масштабування.

Кореляційні – характеристики, засновані на оцінці лінійного зв'язку між сітковими ознаками в ковзному вікні. Інтерес представляють такі кореляційні характеристики як скалярний коефіцієнт лінійної кореляції, коефіцієнт просторової кореляції (обчислюється як косинус кута між нормаллями до площин, що апроксимують значення кожного з ознак), коефіцієнт Пірсона, коефіцієнти рангової кореляції Спірмена й Кендалла [11]. Крім того, можуть також обчислюватися автокореляційна й взаємо-кореляційна функції при фіксованому зсуві.

Типи особливостей – трансформації, що відображають тип полінома, яким з найменшою погрішністю апроксимуються значення шару усередині околиці. Типи поліномів, що кодуються цифрами від 1 до 9, вибираються з наступного набору:

Код 1 – $U(x,y) = a \cdot x^2 + b \cdot y^2$ – максимум;

Код 2 – $U(x,y) = -a \cdot x^2 - b \cdot y^2$ – мінімум;

Код 3 – $U(x,y) = a \cdot x^2 - b \cdot y^2$ – сідло;

Код 4 – $U(x,y) = a \cdot y^2 - b \cdot x^2$ – сідло;

Код 5 – $U(x,y) = a \cdot x^3 - b \cdot x \cdot y^2$ – мавпяче сідло;

Код 6 – $U(x,y) = a \cdot y^3 - b \cdot x^2 \cdot y$ – мавпяче сідло;

Код 7 – $U(x,y) = a \cdot x^2$ – жолоб;

Код 8 – $U(x,y) = a \cdot y^2$ – жолоб;

Код 9 – $U(x,y) = a \cdot x^2 \cdot y^2$ – схрещені жолоби.

Форми січних прямих. Трансформації, що відображають форму областей, утворених при апроксимації перетинів вихідного числового шару площинами на різних рівнях.

Кривизни – обчислення трансформант на основі аналізу поверхні, що апроксимує значення ознаки усередині ковзного вікна. Значення, що обчислюються, є кодом, що відбиває характер апроксимуючої поверхні (еліптична, гіперболічна, параболічна), або характеристики кривизн поверхонь (дві головні, нормальна, середня, гаусова) [1]

Характеристики форми січних кривих – засновані на визначенні форми плоских кривих, утворених при перетині тривимірної поверхні числового шару горизонтальними площинами. Для кожного перетину обчислюються 4 трансформанти, перша з яких містить коди можливих форм кривих (еліпс, гіпербола, парабола, що перетинаються прямі або паралельні прямі). Трансформанти 2-4 складаються зі значень інваріантів Alpha, Beta і Gamma:

$$\text{Alpha} = \begin{vmatrix} 1 & d/2 & b/2 \\ d/2 & e & c/2 \\ b/2 & c/2 & a \end{vmatrix}, \quad \text{Beta} = \begin{vmatrix} 1 & d/2 \\ d/2 & e \end{vmatrix}, \quad \text{Gamma} = 1 + e,$$

де a, b, c, d, e – коефіцієнти рівняння кривій

$$a + bx + cy + dxy + ey^2 + x^2 = 0.$$

Фрактальні – ті, що характеризують фрактальні розмірності вхідної ознаки в ковзному вікні. Задача розрахунку фрактальних трансформацій і аналізу фрактальної розмірності зображення складається у відображенні просторового варіювання фрактальній розмірності, або текстурі, зображення для виділення ділянок територій з якісно різною локальною формою організації [12-14]. Ієрархічні рівні організації території виділяються на основі двовимірного спектра зображення, що дозволяє по двох ортогональних напрямках оцінити ступінь симетричності територіальних структур. Детальніше обчислення фрактальних розмірностей описане в розділі 3.

Сегментація зображень. Модуль виконує сегментацію геозображення - поділ його на однорідні області - методом нарощування областей або структурно-гармонічною сегментацією. Схема виконання цієї операції наведена в розділі 3.

Арифметичні/тригонометричні. Модуль дозволяє виконувати арифметичні й тригонометричні операції над окремими шарами й групами шарів. Обчислення виробляються над кожною коміркою окремо (тобто в околиці 1x1). При розрахунку трансформацій одного шару пропонується два варіанти: без константи й з константою. У першому випадку в кожній точці зі значенням x можна розрахувати $\sin x$, $\cos x$, $\tan x$, $\cotan x$, $\arctan x$, xe , $|x|$, x^2 , $x^{1/2}$, $\ln x$, $\log a x$. У другому режимі запитується деяка константа a й розраховуються: $a+x$, $a \cdot x$, a/x , x/a , xa , $x^{1/a}$, а також може бути додана випадковий «шум», який змінюється у межах від $-a$ до $+a$.

При розрахунку арифметичних трансформацій декількох шарів можна виконати їхнє додавання, множення, ділення й вирахування.

Обчислення в режимах чотирьох і шести шарів призначені для розрахунку специфічних характеристик лінеаментної мережі, які будуються у модулі «Аналіз лінеаментів».

2.5. Блок виділення аномалій

У цей блок включені модулі, що реалізують різноманітні аналітичні операції, виконувані над сукупністю (два й більше) шарів.

Таблиця 2.5 – Модулі, що входять у блок комплексного аналізу

Виділення комплексних аномалій	Розбивка точок растра на "фонові" і "аномальні" по сукупності шарів
Матриця коефіцієнтів кореляції	Розрахунок матриці коефіцієнтів кореляції між шарами й аналіз їхньої значимості.
Норми матриць залежностей	Розрахунок шарів, що представляють собою значення різноманітних норм кореляційних і коваріаційних матриць, сформованих за значеннями вихідних шарів усередині ковзного вікна.
Розрахунок дисперсії розкиду	Розрахунок шарів, що представляють собою значення мер розкиду N-мірних векторів, які складаються зі значень N вихідних шарів усередині ковзного вікна
Оцінка варіограм	Обчислення текстурних характеристик зображень із використанням оцінок варіограм
Діаграма розкиду	Побудова діаграми залежності двох/трьох шарів, з можливістю оконтурювання областей діаграми й формування на їхній основі нового символічного шару

Виділення комплексних аномалій. Використовується для формування бінарних шарів, що відбивають сумарні особливості вихідних числових ознак, та розділяють територію на «фонові» і «аномальні». Для цього здійснюється розбивка множини вузлів сітки ("елементарних об'єктів"), що характеризуються N-мірними векторами обраних шарів, на два класи -

відносно великий клас 2 "фонових об'єктів" і клас 1 "аномальних об'єктів", тобто об'єктів, що найбільш відрізняються від інших.

Матриця коефіцієнтів кореляції. Для обраних числових шарів модуль розраховує матрицю попарних коефіцієнтів кореляції й визначає їхню значимість. Головне вікно модуля має стандартний інтерфейс, доповнений кнопкою «Розрахувати матрицю коефіцієнтів кореляції». Після розрахунку з'являється вікно «Таблиця кореляції», що має вигляд, представлений на рис. 2.8.

	2	3	4	5	6	7	8
1	0.97	0.85	0.08	-0.38	-0.53	-0.63	-0.68
2	-	0.91	0.21	-0.25	-0.40	-0.52	-0.59
3	-	-	0.51	0.12	-0.04	-0.17	-0.22
4	-	-	-	0.88	0.79	0.70	0.65
5	-	-	-	-	0.98	0.95	0.91
6	-	-	-	-	-	0.99	0.98
7	-	-	-	-	-	-	1.00
8	-	-	-	-	-	-	-

Имена слоёв:

ряд — New layer N2

колонка — New layer N4

Кoeffициенты корреляции: **значимые** **незначимые**

Щёлкайте левой кнопкой мыши на ячейках для получения информации

Рисунок 2.8 – Вікно матриці коефіцієнтів кореляції.

Елементи інтерфейсу, позначені на рисунку цифрами, мають наступне призначення. У таблиці 1 наводяться коефіцієнти кореляції, розраховані для всіх можливих пар шарів, зазначених користувачем. При виборі конкретного комірки сітки виводиться інформація про те, якій парі шарів відповідає значення в комірці (2). Програма дозволяє вивести матрицю в текстовий редактор MS Word натисканням на кнопку 4; кнопка 5 закриває дане вікно.

Норми матриць залежностей. Модуль формує нові шари-ознаки, значення яких визначаються як відповідні властивості (норми) матриць. Матриці розраховуються за значеннями набору вихідних шарів у ковзному вікні. Матриця формується одним із двох способів: її елементами A_{ij} стають або коваріації, або кореляції між наборами значень пари ознак (i і j). Для вікна допускається розрахунок до трьох "властивостей" матриць:

- сума абсолютних значень $|A_{ij}|$ з верхнього трикутника матриці;
- сума діагональних елементів (*тільки для коваріаційної матриці*);

визначник матриці.

Розрахунок дисперсії розкиду. Модуль створює нові числові шари, значення яких визначаються як міри розкиду N -Мірних векторів, складених у точках поточного ковзного вікна зі значень N вихідних шарів ознак. У результаті роботи модуля формуються два шари:

- середнє квадратів відхилень векторів від середнього;
- середнє квадратів попарних відстаней між векторами.

Оцінка варіограмм. Модуль виконує оцінку функції варіограми. Виробляється обчислення одномірних і двовимірних оцінок функції варіограми, які є характеристиками вхідних даних. Проведення розрахунків засноване на обліку просторової автокореляції - просторової залежності, що існує між пікселем і його сусідами. В одномірному випадку для опису вхідних даних використовується заснована на модулі різниці значень елементів зображення мадограма й заснована на квадраті різниці повна варіограма. У випадку розрахунку багатомірних (двовимірних) оцінок функції варіограми визначається взаємна просторова кореляція між двома наборами сіткових числових даних.

Розрахунок набору характеристик базується на міркуванні про менше розходження значень просторової змінної в більше близьких точках, чим у

більше далекі. Для обліку просторової автокореляції використовується варіограма. Варіограма (полуваріограма) є мірою подібності/розходження значень просторових даних залежно від відстані між ними й напрямку. Класичне вираження для функції варіограми має вигляд:

$$V(h) = 0.5E \{[D(x) - D(x+h)]^2\},$$

де $D(x)$ - значення просторової величини в точках x ; h - лаг (відстань між точками).

Діаграма розкиду. Модуль виводить на екран точкову діаграму розподілу (поле кореляції) двох шарів. Кожна точка діаграми відповідає вузлу сітки; значення шарів визначають її абсцису й ординату. Точкам діаграми, побудованим за значеннями 2-х шарів можна зіставити кольори, що відбивають значення третього шару.

Модуль дозволяє одержувати діаграми виду, показано на рис. 2.9.

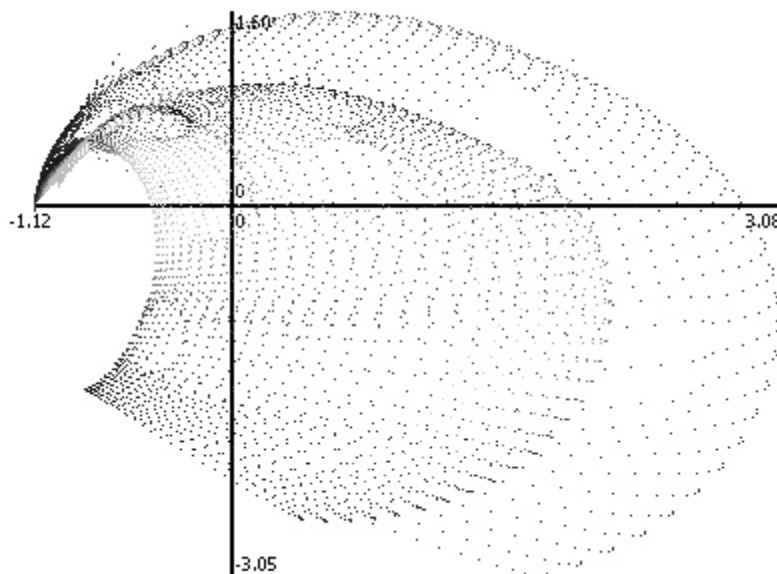


Рисунок 2.9 – Приклад діаграми розкиду значень двох шарів (інтенсивністю кольору показані значення третього шару)

У модулі передбачена можливість оконтурити довільні області діаграми й формувати новий шар, що визначає точки, що потрапили усередину

заданого контуру. Такий шар дозволяє з'ясувати, яке просторове розташування (на досліджуваній ділянці) виділених точок, що може бути надзвичайно корисним при рішенні прогнозних завдань, зокрема, аналізі еталонних вибірок.

2.6 Блок обробки векторних даних

Забезпечує виконання різноманітних операцій з векторними об'єктами, і реалізує процедури лінеаментного аналізу геообразень, до яких належать растрові карти фізичних полів, аерокосмічні матеріали й цифрові моделі поверхонь (рельєф, фундамент, структурні горизонти й т.д.)

Таблиця 2.6 – Основні модулі блоку обробки векторних даних

Редагувати векторні об'єкти	Редагування векторних шарів, що містять точки, полігони й полілінії
Виділення лінійних і кільцевих елементів	Модуль для автоматичного виділення лінеаментів, кільцевих і дугових структур на знімках і у фізичних полях
Відстані до векторних об'єктів	Програма розраховує відстані до векторних об'єктів - точок, полігонів, поліліній
Розрахунок характеристик лінеаментів	Розрахунок різноманітних просторових трансформацій лінійних векторних шарів
Аналіз лінеаментів	Побудова троянд-діаграм і гістограм, що відбивають характеристики мережі лінеаментів.
Растрезація векторних шарів	Переклад векторних шарів у сіткову форму подання

Редагувати векторні об'єкти. Модуль являє собою багатофункціональний векторний редактор, що дозволяє створювати й редагувати в інтерактивному режимі векторні шари. Реалізовано функції для роботи як із самими просторовими векторними об'єктами, так і з їхньою атрибутивною базою (числовими й текстовими значеннями, приписаними об'єктам).

Виділення лінійних і кільцевих елементів використовує в якості вхідних дані границі областей яскравості, побудовані методом контурного аналізу в модулі обробки зображень. Зазначені елементи мають велике значення при рішенні геологічних і геоекологічних завдань, а також прогнозуванні надзвичайних ситуацій (зокрема, землетрусів, зсувних явищ і т.п.).

Алгоритми виділення лінійних, кільцевих і дугових елементів зображення побудовані на модифікованих перетвореннях Хафа (імовірнісному і випадковому), які базуються на обліку геометричних зв'язків між елементами зображення [6].

Перетворення Хафа дозволяє знаходити на бінарному зображенні плоскі криві, задані параметрично. Сімейство кривих на площині описується параметричним рівнянням: $F(a_1, a_2, \dots, a_n, x, y) = 0$, де F – деяка функція, a_1, a_2, \dots, a_n – параметри сімейства кривих, x, y – координати на площині. Параметри сімейства кривих утворюють фазовий простір, кожна точка якого (конкретне значення параметрів a_1, a_2, \dots, a_n) відповідає деякій кривій. Через дискретність цифрового подання вхідних даних (зображення), потрібен перехід безперервного фазового простору в дискретне. Для цього у фазовому просторі вводиться сітка, що розбиває його на комірки, кожна з яких відповідає набору кривих із близькими значеннями параметрів. Кожній комірці фазового простору ставиться у відповідність число, що вказує кількість "точок інтересу" на зображенні, що належать хоча б однієї із кривих, що відповідають даній комірці. Аналіз значень комірок дозволяє знайти на зображенні криві, на яких лежить найбільша кількість "точок

інтересу". Модуль використовує модифікований варіант перетворень Хафа, що дозволяє краще враховувати специфіку відображення геологічних структур на аерокосмоснімках. Зокрема, для підвищення надійності виділення структур, що не мають чітких границь, підрахунок «точок інтересу» ведеться не уздовж кривих товщиною в один піксель, а уздовж смуг товщиною n пікселів, де число n підбирається користувачем емпірично.

Виділені лінійні, дугові й кільцеві елементи становлять самостійний інтерес, а також можуть використовуватися для розрахунку характеристик векторних об'єктів і лінеаментного аналізу.

Відстані до векторних об'єктів. Модуль дозволяє побудувати карту, у якій кожній комірці привласнюється значення, рівне її відстані до найближчого об'єкта зазначеного векторного шару. Є можливість обчислення відстаней до полігональних, лінійних і точкових шарів. Отримані карти можуть бути досить корисні для аналізу структурної геологічної ситуації, а також при різноманітних екологічних дослідженнях.

Розрахунок характеристик лінеаментів. Модуль використовується для розрахунку характеристик лінеаментної мережі, що несуть корисну інформацію про геологічні особливості досліджуваної території, найчастіше недоступну при візуальному аналізі, а також виконання різноманітних аналітичних операцій.

На вхід модулю можуть подаватися як виділені лінійні, кільцеві й дугові елементи, так і окремі картографічні шари, отримані шляхом векторизації різноманітних карт і схем.

У модулі реалізовані кілька типів алгоритмів. Перша група дозволяє розраховувати в ковзній околиці (вікні) різноманітні характеристики одного векторного картографічного шару, у тому числі:

- кількість елементів;
- сумарна довжина лінійних і дугових елементів;

- щільність елементів, виражена числом елементів на одиницю площі (піксель зображення), загальною довжиною елементів на одиницю площі або кількістю точок перетинань елементів одного типу на одиницю площі;
- показник перетинання елементів, виражений відношенням кількості перетинань до числа елементів;
- переважний азимут простягання лінійних елементів (лінеаментів);
- дисперсія розподілу значень довжин лінійних елементів;
- статистичні характеристики троянд-діаграм лінійних елементів, що потрапили усередину ковзної околиці;
- відстані від вузлів сітки до найближчого векторного об'єкта й ряд інших характеристик.

Друга група алгоритмів призначена для спільного аналізу декількох векторних шарів з метою вивчення їхніх просторових взаємозв'язків. Характеристики, що розраховуються при цьому [2,4], наприклад, кількість перетинань лінійних і дугових елементів у межах ковзної околиці, співвідношення щільностей різноорієнтованих лінеаментів або показники анізотропії й дисперсії лінеаментної мережі [14], несуть різноманітну інформацію про структурно-тектонічні особливості території, що може використовуватися в геологічних, геодинамічних, гідрогеологічних, геофізичних, ландшафтних і ін. дослідженнях.

Третя група алгоритмів дає можливість одержувати топологічні характеристики майданних векторних об'єктів, такі як сусідство, зв'язність, перетинання й т.п., що відбивають найбільш загальні властивості території.

Результати роботи модуля можуть використовуватися підсистемою кластеризації та розпізнавання, а також модулем лінеаментного аналізу.

Лінеаментний аналіз. Призначений для обробки й інтерпретації результатів роботи двох попередніх модулів.

До складу модуля включені інструментальні засоби, що дозволяють:

- відбирати для подальшого аналізу лінеаменти залежно від їхньої довжини або азимута;
- виконувати генералізацію мережі лінеаментів;
- сортувати кільцеві (дугові) елементи залежності від їхнього радіуса або ступеня стиску;
- знаходити точки перетинання лінеаментів двох або більше напрямків, вузли перетинання лінеаментів і кільцевих (дугових структур) і т.п.;
- обчислювати сіткові характеристики, що відбивають щільності знайдених точок перетинання;
- будувати троянди-діаграми й гістограми лінеаментів, як для всієї досліджуваної території, так і для її окремих частин;
- виявляти ступінь виявлення й періодичність чергування лінеаментів шляхом побудови й аналізу відповідних графіків.

Використання перерахованих інструментів дозволяє ефективно вирішувати задачі, пов'язані з вивченням структурно-тектонічної будови земної кори.

Растрезація векторних шарів. Модуль здійснює переведення векторних шарів у сіткову форму представлення шляхом виконання операції растрезації. Можливо два варіанти - бінарзація, при якій границі ліній і полігонів замінюються комірками з одиничними значеннями, і варіант зі згладжуванням, при якому комірки, що відображають лінії й контури можуть мати речовинні значення в інтервалі [0..1].

Імпорт-Експорт векторних даних. Підтримує імпорт векторних шарів з форматів.shp (ГІС ArcView, ArcGIS), .mif (ГІС MapInfo), .dxf (Autocad), wmf і .emf (Windows Metafile), а також формату .svg у внутрішній формат розробленої геоінформаційної системи, а також експорт у зазначені формати.

2.7 Блок кластерного аналізу

Модулі цього блоку дозволяють виконувати різні операції кластерного аналізу, у тому числі, безпосередньо кластеризацію - розбиття об'єктів на підмножини (кластери), що складаються з подібних по деякій сукупності критеріїв об'єктів, а також процедури аналізу отриманих кластерів.

Таблиця 2.7 – Модулі, що входять до складу блоку кластерного аналізу

Кластеризація методом К-Середніх	Кластеризація по методу К-середнього. Використовується при заздалегідь відомій кількості кластерів.
Кластеризація методом ISODATA	Кластеризація по методу ISODATA. Використовується при заздалегідь невідомій кількості кластерів.
Кластеризація нейронною мережею Кохонена	Кластеризація за допомогою карти Кохонена, що самоорганізується. Використовується при заздалегідь відомій кількості кластерів.
Графіки розподілу значень шарів по класах	Побудова графіків-діаграм розподілу значень шарів по класах.
Статистики	Розрахунок елементарних статистик і побудова гістограм для шару цілком або для його точок, що попадають усередину зазначених класів (кластерів)
Побудова дендрограм шарів	Побудова ієрархічного дерева шарів-ознак

Модулі блоку призначені для наступні:

Кластеризація методом К-середніх. Модуль реалізує класичний алгоритм кластеризації " k-середніх" [16]. Кластеризація полягає у виділенні в

межах сітки груп однорідних областей (кластерів, таксонів) і може застосовуватися для районування території (таксономії). Алгоритм заснований на мінімізації показника якості, визначеного як сума квадратів відстаней всіх точок, що входять у кластерну область, до центра кластеру.

Цей алгоритм варто використовувати при заздалегідь відомій кількості кластерів. Застосування алгоритму вимагає проведення експериментів з різними значеннями кількості кластерів і дає добрі результати, коли об'єкти утворюють характерні грона, що досить далеко відстоять друг від друга.

У відмінності від класичного алгоритму, реалізована в системі дозволяє задавати «ваги» шарів і, таким чином, управляти ходом кластеризації, одержуючи більше осмислені з геологічної точки зору результати.

Кластеризація методом ISODATA. Алгоритм ISODATA заснований на ітеративному обчисленні внутрігрупових середніх, які й обираються центрами шуканих кластерів. Припинення процесу кластеризації настає або по вичерпанні заданого числа ітерацій, або при досягненні оптимального (кращого) значення критерію якості. Для одержання осмислених результатів необхідно варіювати значення параметрів кластеризації - кількість фізичних спостережень (точок) у кластері, число кластерів або припустиме число ітерацій. Модуль запитує в користувача три додаткових параметри:

1. Передбачуване число кластерів (від 2-х до 64-х). Результуюча кількість може бути іншою, але в цілому, чим більше попереднє число кластерів, тим більше й остаточне.
2. Припустима кількість кроків (ітерацій) - від 2 до 100. Чим вище ця кількість, тим точніше результати, але більше витрати часу.
3. Мінімальна кількість об'єктів у кластерах. Чим менше ця кількість, тим більше кластерів може бути сформоване в результаті.

Кластеризація нейронною мережею Кохонена. Заснована на використанні на т.зв. «карти Кохонена, що самоорганізується» [17].

Застосування алгоритму вимагає проведення експериментів з різними значеннями кількості кластерів, типами сіток для розміщення нейронів і видами відстаней. У модулі реалізовані прямокутна, гексагональна й випадкова сітки, і ряд відстаней між нейронами, у тому числі:

- Євклідово відстань між нейронами обчислюється по формулі: $d = \sqrt{\sum (\text{pos}_i - \text{pos}_j)^2}$,

де $\text{pos}_i, \text{pos}_j$ - вектори положення нейронів з номерами i та j .

- Відстань максимального координатного зсуву обчислюється по формулі: $d = \max (|\text{pos}_i - \text{pos}_j|)$

- Відстань сумарного координатного зсуву обчислюється по формулі: $d = \sum (|\text{pos}_i - \text{pos}_j|)$.

- Відстань зв'язку й інші

Цей алгоритм можна використовувати в тому випадку, якщо кількість кластерів відомо заздалегідь.

Графіки розподілу значень шарів по класах. Модуль призначений для побудови графіків розподілу значень шарів по класах, отриманим у результаті кластеризації (або процедур розпізнавання). На графіку для комірок кожного класу відображається лінія, що показує частоту або частість влучення значень зазначеного числового шару в визначені інтервали (рис. 2.10).

Модуль дозволяє візуально аналізувати результати кластеризації, розпізнавання й інших операцій, що створюють шари із класами.

Статистики. Модуль призначений для розрахунку статистичних параметрів значень шару або для всіх вузлів сітки (генеральної вибірки), або для окремих його класів (кластерів).

Головне вікно модуля має стандартний інтерфейс, доповнений спеціальними панелями, вигляд яких наведений на рис. 2.11.

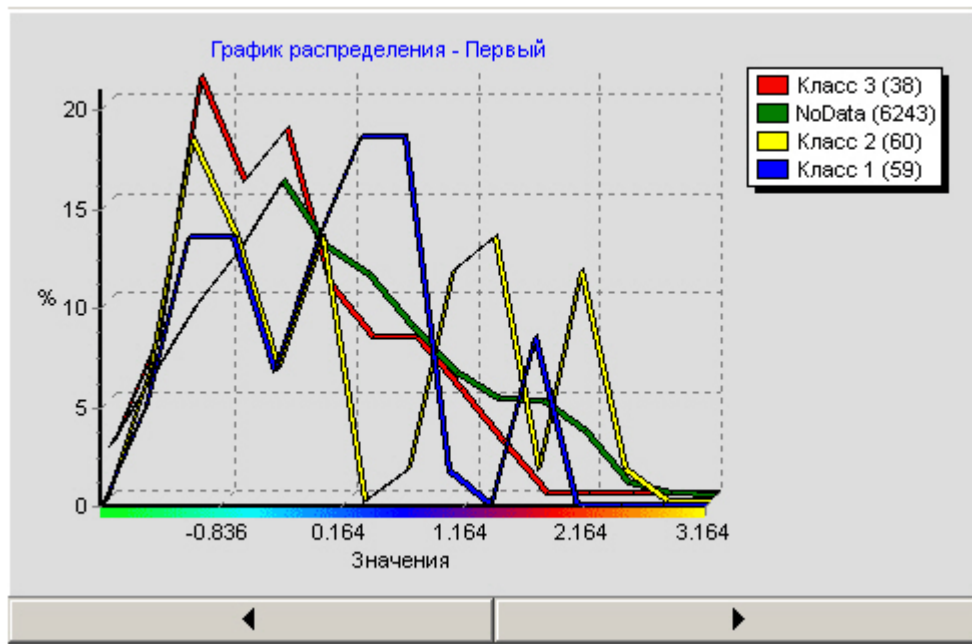


Рисунок 2.10 – Вікно модуля «Графіки розподілу значень шарів по класах».

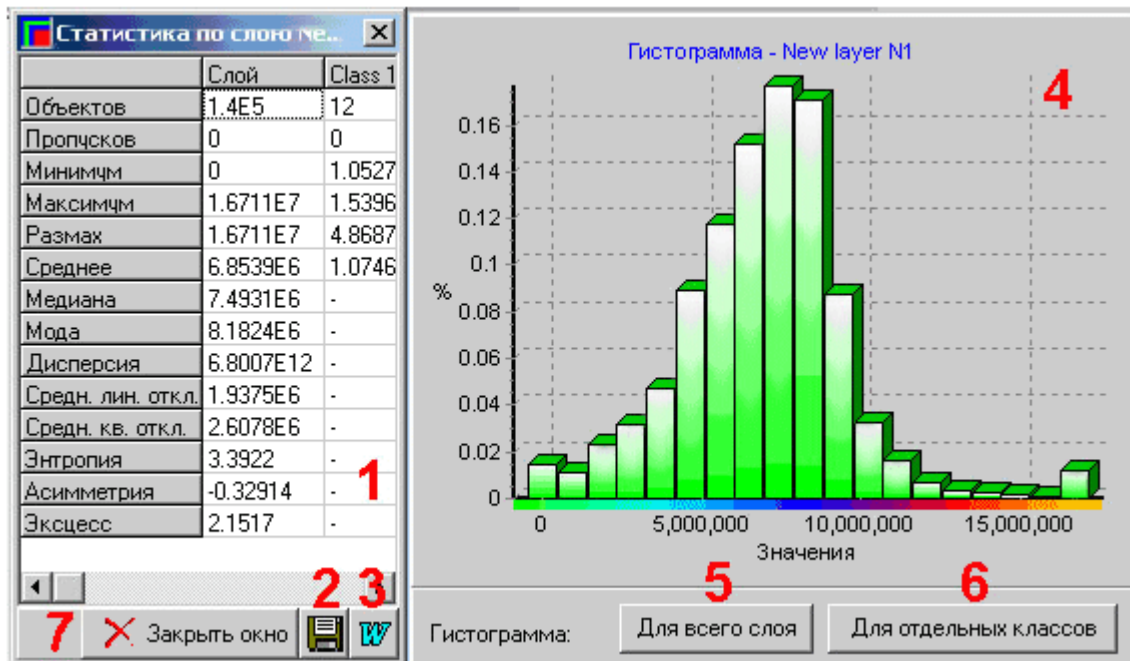


Рисунок 2.11 – Панелі відображення гістограм і статистик

Позначені цифрами елементи інтерфейсу мають наступний сенс.

У вікні 1 виводиться таблиця з розрахованими статистиками. Відображаються статистики як для всього шару (другий стовпчик), так і

статистики для точок, що попадають усередину окремих класів (якщо символічний шар, що визначає розбивку території на класи).

Натисканням на кнопку **2** таблиця може бути збережена в текстовому файлі, кліком на **3** – у файлі формату MS Word.

В області **4** відображається гістограма значень шару. Можна вивести дані по всьому шару (кнопка «**Для всього шару**») або по вузлах сітки, що попадає усередину конкретних класів (кнопка «**Для окремих класів**»)

Кнопка **7** служить для закриття вікна.

Побудова дендрограм шарів. Модуль дозволяє будувати й візуалізувати ієрархічного дерево шарів-ознак на основі дискримінантних функцій. Дендрограма («дерево») будується або за значеннями шарів, або по матриці залежностей. Реалізовано розрахунок з використанням різних видів відстаней – евклідового, Махаланобіса, метрики Мінковського та інших.

Зовнішній вигляд побудованого дерева показаний на рис. 2.12.

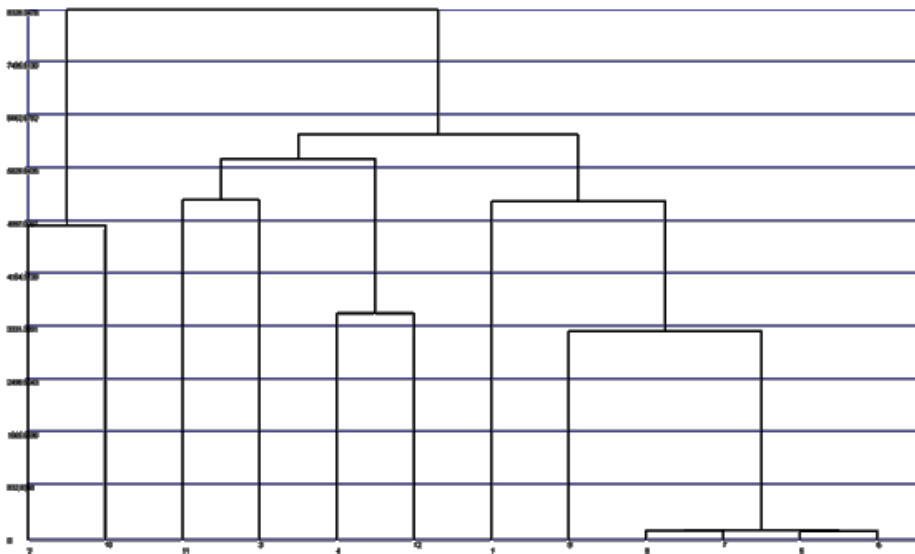


Рисунок 2.12 – Приклад побудованої дендрограми

Отримане дерево дозволяє аналізувати зв'язки між шарами, використаними для кластеризації, і виявляти шари, що вносять найбільший і найменший внесок у результат.

2.8 Блок розпізнавання

Представлена геоінформаційна система базується на методах розпізнавання й ранжирування, що дозволяють вирішувати широке коло прогнозних геологічних задач. Ці методи дозволяють виявляти прямі зв'язки між просторовими закономірностями розташування досліджуваних об'єктів і явищ і особливостями їхніх даних, що описують – фізичних полів, геологічних схем і карт, аерокосмічних знімків, морфологічних і ландшафтних особливостей рельєфу й ін..

У блоці розпізнавання зібрані модулі, що реалізують широкий спектр зазначених методів, а також ряд допоміжних функцій, у тому числі створення й редагування еталонів, оцінки інформативності шарів-ознак, оцінки якості прогнозу й ін.

Таблиця 2.8 – Модулі блоку розпізнавання

Завдання еталонів	Створення шарів, що містять еталонні й контрольні точки, які необхідні для виконання прогнозу
Багатомірне шкалювання	Модуль призначений для аналізу еталонних класів і оцінки їхньої компактності в багатомірному просторі шляхом виділення різко, що відрізняються об'єктів
Інформативність по Кендалу (індивідуальна)	Оцінка індивідуальної інформативності шарів-ознак по методу Кендала
Інформативність по Бхатачарія (індивідуальна)	Оцінка індивідуальної інформативності шарів-ознак по методу Бхатачарія
Діагностуючий набір	Побудова гістограми, що описує помилки розпізнавання при різних наборах вихідних шарів. Служить для вибору діагностуючого набору ознак

Детерміністські методи розпізнавання й ранжирування	Віднесення точок мережі до еталонних класів. При наявності одного класу виконується ранжирування, при наявності декількох - розпізнавання. У першому випадку точки впорядковуються в міру подібності з еталонним класом, у другому - відносяться до одного із класів.
Нейромережеві методи	Прогноз за допомогою нейронних мереж
Статистичні методи розпізнавання	Параметричні та непараметричні статистичні методи розпізнавання
Логічні методи розпізнавання	Прогноз за допомогою алгоритму КОРА-3 (для двійкових шарів)
Оцінка якості прогнозу	Оцінюється ступінь відповідності прогнозних побудов фактичним даним.

Нижче даний опис модулів, що входять у блок розпізнавання.

Завдання еталонів. Більшість алгоритмів розпізнавання й ранжирування реалізують т.зв. керовану класифікацію, що передбачає використання еталонних вибірок, які включають об'єкти із заздалегідь відомими властивостями. Еталонні об'єкти - комірки сітки, яким приписаний номер деякого класу й поставлений у відповідність вектор чисел, сформованих зі значень шарів, що належать до поточної сітки. Модуль дозволяє формувати шари, що містять еталонні об'єкти одного або декількох класів.

Головне вікно модуля має стандартний інтерфейс, доповнений панеллю завдання еталонів (рис. 2.13).

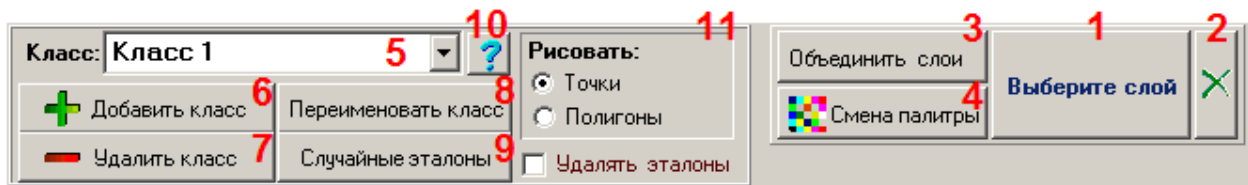


Рисунок 2.13 – Панель завдання еталонів

Призначення зазначених елементів інтерфейсу наступне.

- Кнопка "Вибір шару"(на рисунку - номер 1) дозволяє вибрати шар, що містить еталони або створити новий.
- Кнопка 2 служить для припинення роботи з поточним еталонним шаром.
- Кнопка "Об'єднати шари"(3) дозволяє об'єднати еталони, що містяться у двох різних еталонних шарах.
- Кнопка "Зміна палітри"(4) служить для зміни колірної палітри еталонного шару.
- Установити клас, з яким виконується робота, можна у випадяючому списку "Клас"(5).
- Для додавання нового класу використовується кнопка "Додати клас"(6), після чого вказується його ім'я й колір відображення. Робота відбувається із класом, ім'я якого зазначене в цей момент у випадяючому списку "Клас"(5).
- При необхідності створені класи можна видаляти (кнопка "Видалити клас"(7)) або перейменовувати (кнопка "Перейменувати клас"(8)).
- Крім того, існує режим випадкового завдання еталонних точок. Він може застосовуватися у випадку, коли еталонні об'єкти якого-небудь із класів, необхідних для розпізнавання, не відомі. Для випадкового завдання еталонних точок призначена кнопка "Випадкові еталони"(9).
- По кнопці "?"(10) можна одержати інформацію про кількість об'єктів-точок у класі, ім'я якого зазначено в цей момент у списку "Клас" (5).

- Додати еталонні об'єкти можна додати за допомогою кліку курсором миші, указавши на панелі **"Рисувати"**(11) один з режимів - **"Точки"** або **"Полігони"**.

- Якщо відзначено прапорець **"Видаляти еталони"**, еталони у виділених областях або точках будуть віддалятися.

Багатомірне шкалювання. Модуль призначений для аналізу еталонних класів і оцінки їхньої компактності в багатомірному ознаковому просторі шляхом виділення об'єктів, що відрізняються. Процедура багатомірного шкалювання виконується методом триангуляції на основі двох підходів: точки відліку й другого найближчого сусіда. Триангуляція на основі точки відліку передбачає завдання користувачем довільної вихідної точки (з переліку вихідних об'єктів). Крім того, для оцінки близькості об'єктів у багатомірному ознаковому просторі використовуються наступні міри відстані: Евклідово, Махаланобіса, косинусне, відстань city-block, метрика Мінковського, кореляційне, квадратне кореляційне.

Головне вікно модуля має стандартний інтерфейс, доповнений панеллю управління (рис 2.14).

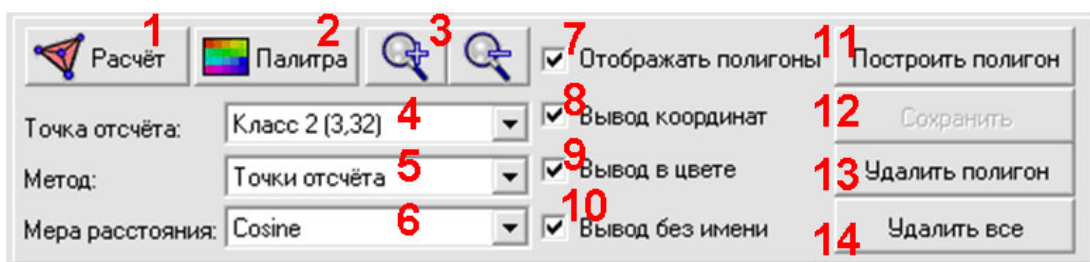


Рисунок 2.14 – Панель модуля багатомірного шкалювання

Елементи керування на панелі мають наступне призначення:

- При натисканні на кнопку **1** виконується розрахунок взаємного розташування об'єктів у багатомірному ознаковому просторі з наступним відображенням на площину. Результати відображення представляються в

правій частині головного вікна модуля. Параметри розрахунку (точка відліку, метод обчислення, міра відстані при розрахунках) задаються відповідно в списках 4, 5, 6.

- Кнопка 2 дозволяє змінити колірну палітру відображуваних об'єктів. Режим безбарвного відображення встановлюється прапорцем 9.

- Кнопки 3 призначені для масштабування одержуваного відображення.

- Прапорець 8 дозволяє виводити у вигляді підписів до відображуваних об'єктів координати на вихідному растрі. Прапорець 10 дозволяє відключити вивід підписів.

- Кнопка 11 включає режим побудови полігонів на отриманому відображенні для вибору об'єктів, що цікавлять. Вивід полігонів на отриманому відображенні управляється прапорцем 7.

- Збереження відібраних користувачем об'єктів у символічний шар здійснюється натисканням на кнопку 12.

- Кнопки 13, 14 дозволяють відповідно зробити видалення останнього побудованого полігона й всіх побудованих користувачем полігонів.

Оцінка індивідуальної інформативності шарів-ознак методами Кендала й Бхатачарія.

Виконання процедур розпізнавання й ранжирування вимагає попереднього створення т.зв. ознакового простору - набору шарів-ознак, які описують територію й відбивають ті або інші аспекти досліджуваного явища або процесу. Простір описів бути мінімальним, але в той же час достатнім для рішення поставленої задачі з необхідною точністю й надійністю. Оскільки в цей час не розроблена формальна процедура, що дозволяє заздалегідь визначити оптимальний набір ознак, то при рішенні конкретних задач спочатку створюється вихідна система ознак-описів, а потім вона мінімізується шляхом відкидання ознак, несуттєвих з погляду рішення поставленої задачі [1]. Для виділення несуттєвих ознак виконується оцінка їхньої інформативності, що

може бути індивідуальною й діагностуючою. Індивідуальна інформативність відбиває ступінь "роздільності" еталонних класів для даної ознаки, тобто, іншими словами, вона показує, наскільки гістограми еталонних об'єктів, побудовані за значеннями даної ознаки, перекриваються. Чим менше площа перекриття, тим вище індивідуальна інформативність ознаки.

Реалізовано два методи оцінки індивідуальної інформативності - по Кендалу й Бхатачарія [1].

У результаті роботи модуля будуються діаграми, стовпці якої відбивають розраховану інформативність ознак. Приклад роботи наведений на рис. 2.15.

Чим вище стовпець діаграми, тим вище інформативність ознаки й тем доцільніше включення його у формований ознаковий простір.

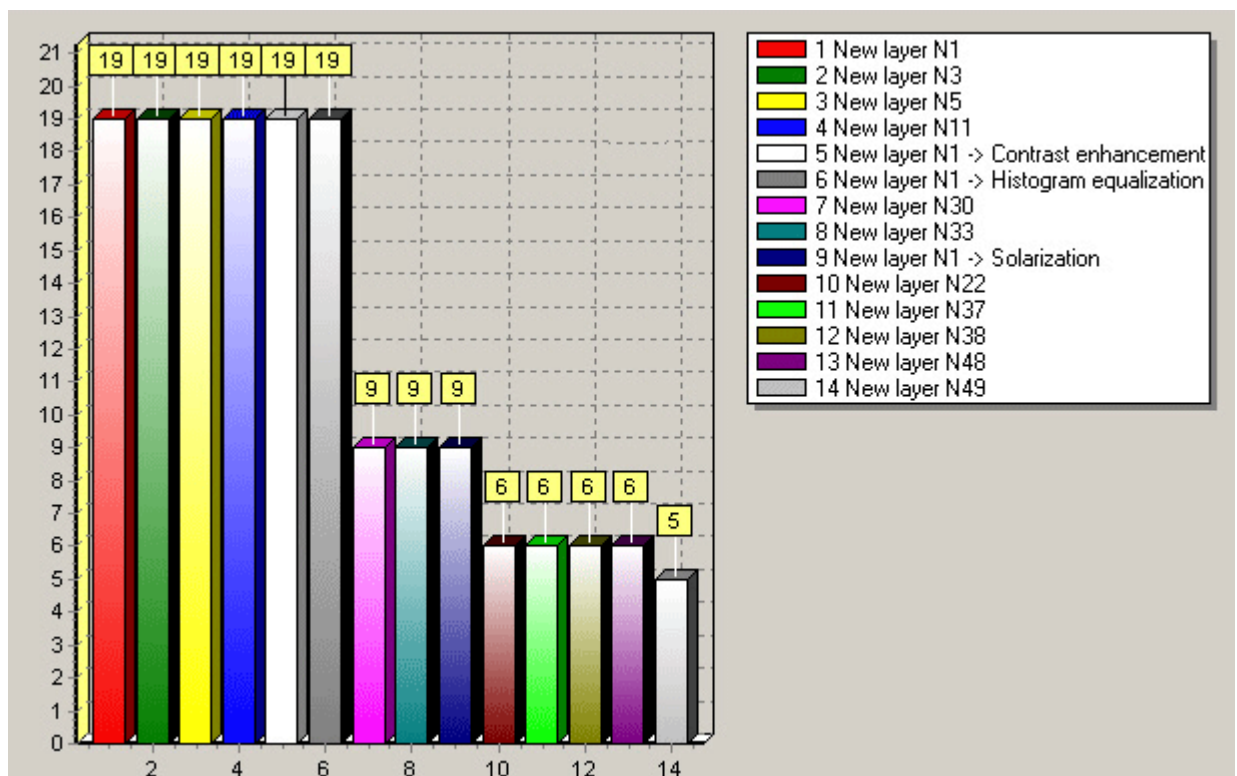


Рисунок 2.15 – Приклад діаграми, що відбиває індивідуальну інформативність шарів-ознак.

Діагностуючий набір. Найбільш ефективний спосіб мінімізації ознакового простору - побудова діагностуючого набору шарів-ознак. Воно засновано на пошуку такого набору ознак, який би дозволяв щонайкраще розділяти території в міру її подібності з еталонними вибірками заданих класів [1]. Діагностуючі набори розраховуються з використанням різних вирішальних правил і мер подібності; при цьому оцінюється імовірність помилки класифікації (ЙПК) набору. Модуль дозволяє використовувати як вирішальне правило або функцію міри близькості (ФМБ), або потенційну функцію. Оптимальним з'являється вирішальне правило, для якого мінімізується ЙПК діагностуючого набору.

Результати розрахунку діагностуючого набору виводяться у вікно, що має наступний вид (рис. 2.16).

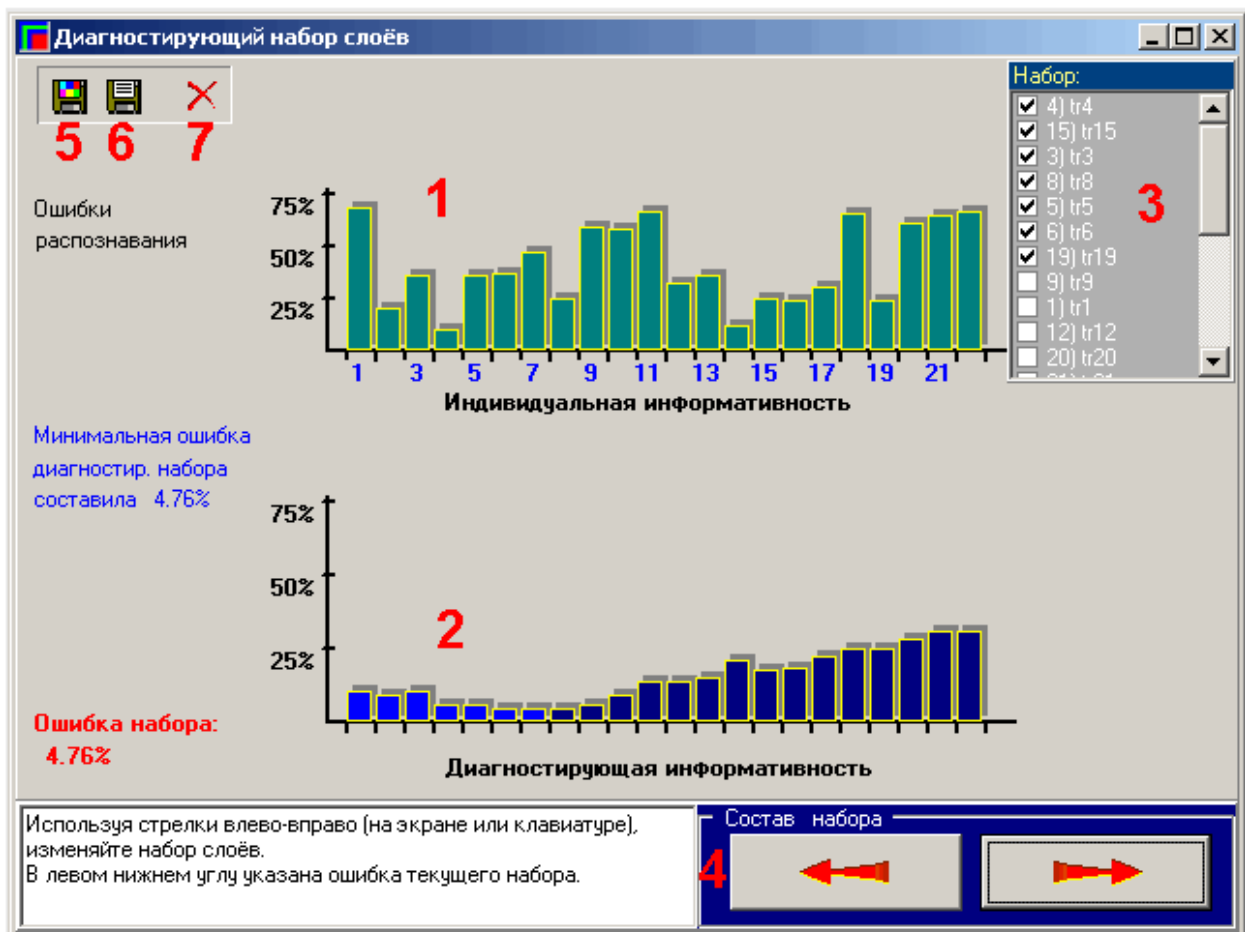


Рисунок 2.16 – Вікно вибору діагностуючого набору

Елементи управління вікна мають наступне призначення:

- 1 – діаграма індивідуальної інформативності;
- 2 – діаграма діагностуючої інформативності;
- 3 – список шарів. Шари, що ввійшли в набір, виділяються «галочками»;
- 4 – кнопки вибору шарів, що входять у набір. Обрані шари відображаються на діаграмах більше світлим кольором. Оптимальним вважається набір, при якому помилка діагностуючого набору досягає свого мінімуму;
- 5 – збереження зображення в графічному файлі;
- 6 – збереження списку шарів, що ввійшли в набір, у текстовому файлі;
- 7 – закриття вікна.

Ознаки, що не ввійшли в побудований діагностуючий набір, з подальшого розгляду виключаються й в операціях розпізнавання й ранжирування участі не приймають.

Детерміністські методи розпізнавання й ранжирування. Ключовий модуль розробленої геоінформаційної системи, що реалізує класичний підхід до розпізнавання й ранжирування з використанням еталонів.

Залежно від числа L наявних еталонних класів, модуль виконує або ранжирування (при $L=1$), або розпізнавання (при $L>1$). У першому випадку точки сітки впорядковуються в міру подібності до еталонного класу, у другому - відносяться до одному з еталонних класів.

Детерміністські методи використовують різні «відстані» між досліджуваними й еталонними об'єктами з навчальної вибірки в багатомірному ознаковому просторі, по яких виконується процедура ранжирування шляхом оцінки подібності досліджуваних об'єктів з еталонними класами. Розпізнавання виконується після введення порога розділення класів. У розробленої системи детерміністські методи реалізовані на основі різних метрик і функцій (подібності, близькості, подоби, потенційної й ін. [1, 18]).

Статистичні методи розпізнавання. Використовують параметричні й непараметричні оцінки щільності розподілу об'єктів у класах [19, 20]. У параметричних методах вид щільності розподілу вважається заданим з точністю до вектора невідомих параметрів. Суть непараметричної оцінки полягає в тому, що щільність розподілу в деякій області поблизу розглянутого об'єкта передбачається постійною або близької до неї. Цю область визначає вигляд функції ядра й міра подібності. Розпізнавання виробляється на підставі максимуму байєсовської вирішальної функції. Статистичні методи представлені алгоритмами параметричної оцінки щільності для нормального розподілу й непараметричної оцінки методом парзеновського вікна.

Логічні методи розпізнавання. Засновані на застосуванні бінарних даних. Після попереднього перетворення вихідних даних у бінарну форму виробляється формування набору кон'юнкцій з наступним їхнім підрахунком на еталонних об'єктах кожного класу. Кожна кон'юнкція розглядається як нова ознака. У складних ситуаціях є можливість роботи безпосередньо з комбінаціями вихідних ознак. Всі досліджувані об'єкти відносяться до відповідних класів шляхом визначення максимального числа ознак класу. У розробленої системи логічні методи представлені модифікованою версією алгоритму "Кора-3" [21].

Нейромережеві методи. Засновані на використанні нейронних мереж різної архітектури [22, 23]. У модулі реалізовані наступні нейромережеві алгоритми:

- перцептрон Розенблата. Застосовується для рішення задач розпізнавання у випадках з лінійно-роздільними класами;
- багатошаровий перцептрон. Дозволяє встановлювати нелінійні залежності між вхідними векторами ознак і вихідних значень класів;

- радіальна базисна нейронна мережа. Використовує радіальні базисні функції й функції ядра;
- машина опорних векторів. Вирішує задачу розпізнавання шляхом побудови оптимальної гіперплощини в багатомірному просторі ознак;
- рекурентні нейронні мережі (мережа Елмана й рекурентна мережа другого порядку). Містять структурні зворотні зв'язки, що дозволяє якісніше проводити навчання мережі, оптимізуючи результати розпізнавання.

Оцінка якості прогнозу. На заключному етапі обробки даних виконується оцінка якості розпізнавання шляхом розрахунку основних показників якості й статистик, що відбивають ступінь «упевненості» алгоритму, що розпізнає, при виконанні класифікації. Показники (помилки першого й другого роду, коефіцієнт ризику пошуків, показник Браєра, інформаційний показник, сферичний показник і ін. [1]) розраховуються, як правило, по контрольній вибірці - об'єктам заданих класів, що не брали участь у процесі навчання.

Тому для роботи модуля необхідна наявність шару з контрольними точками й шаруючи-результату розпізнавання. Для створення шару з контрольними точками використовується раніше описаний модуль "Завдання еталонів".

2.9 Блок графіки

Крім графічних можливостей, реалізованих Ядром II (див. пп 1.3), розроблена геоінформаційна включає ряд спеціальних модулів для візуалізації даних. Нижче даний їхній перелік.

Таблиця 2.9 – Модулі блоку графіки

Перегляд шарів	Перегляд растрових і символічних шарів
3D поверхня	Створення тривимірної поверхні на основі значень числового шару
Освітленість	Побудова псевдотіньових карт
Псевдокольорове кодування	Модуль призначений для псевдокольорового кодування (розфарбовування) зображення шару.
Карта векторів	Створення карти шару, сформованої зі стрілок, що показують напрямки градієнта поля
Довільний профіль	Побудови графіка значень шару уздовж довільного профілю
Друк	Друк карт шарів

Модулі цього блоку призначені для виконання наступних операцій.

Перегляд растрових і символічних шарів. Служить для висновку растрових карт сіткових шарів з можливістю накладення векторних. Модуль базується на функціях Ядра II і надає більше зручний доступ до них у порівнянні зі звичайними функціональними модулями.

3D поверхня. Модуль призначений для візуалізації числових шарів у вигляді об'ємних поверхонь, де висота поверхні залежить від значень комірок шару. Модуль дозволяє обертати, масштабувати зображення, змінювати його вертикальний розмах, перефарбовувати, задавати джерело висвітлення й множина інших параметрів відображення шару (рис. 2.17).

Всі операції із шаром автоматично запам'ятовуються й можуть бути відтворені за допомогою панелі "Обертання". Послідовність дій можна зберегти у файлі. Ця опція зручна для створення презентацій.

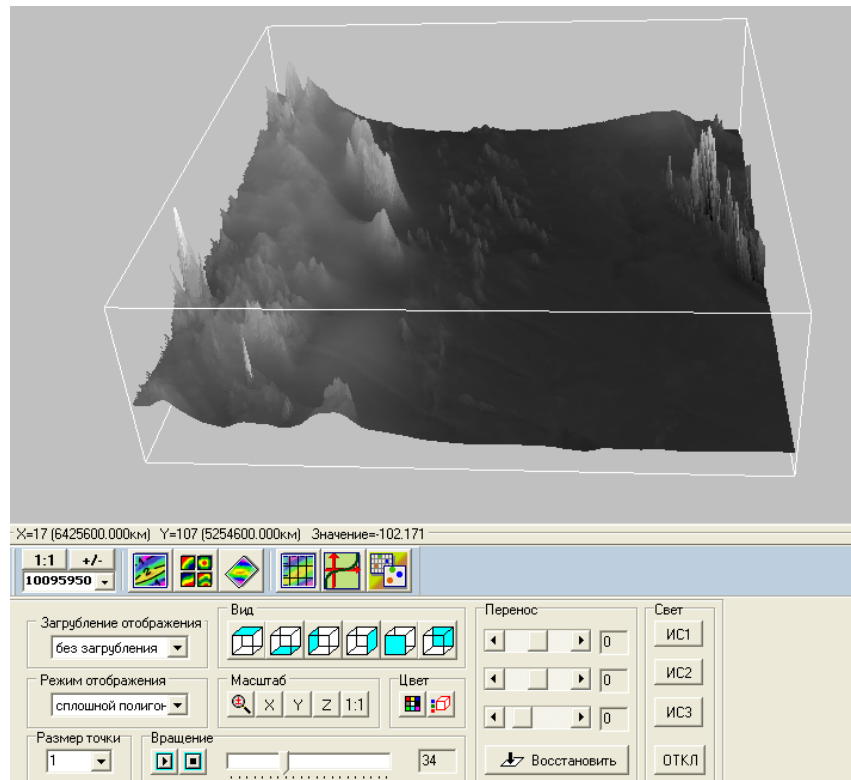


Рисунок 2.17 – Вікон візуалізації шару у вигляді тривимірної поверхні

Освітленість. Модуль дозволяє виводити числові шари у вигляді карт освітленості (псевдотіньових карт або карт «відмивання»), що може бути надзвичайно корисним при візуальному аналізі структурних особливостей геополів і поверхонь (рельєфу, фундаменту, структурних обривів і ін.)

Карта освітленості відображає кількість світла, що падає з умовного джерела світла на тривимірну поверхню, побудовану за значеннями числового шару. Модуль дозволяє задавати місце розташування джерела світла, а також розфарбовувати отриману карту освітленості залежно від значень іншого шару, що дозволяє комплексно аналізувати відразу два шари. Крім того, у модулі реалізований цілий ряд інших функцій, що спрощують роботу фахівця-геолога (рис. 2.18).

Псевдокольорове кодування. Модуль призначений для псевдокольорового кодування (розфарбовування) зображення шару, при якому кожному інтервалу значень числового шару ставиться у відповідність колір, обрана псевдовипадковим чином. Тож, колірна палітра шару

змінюється не плавно, а хаотично. Це дає можливість побачити незначні деталі шару, що не виділяються при його звичайній візуалізації

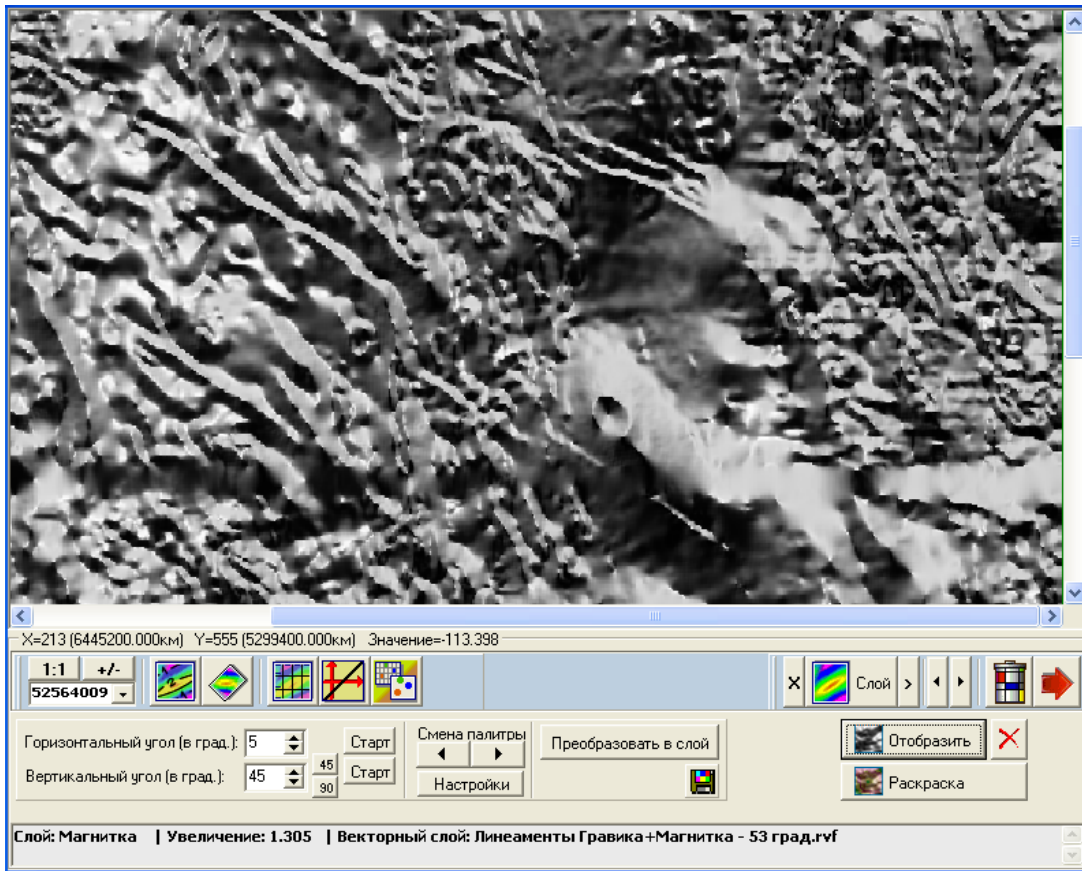


Рисунок 2.18 – Вікно модуля побудови карт освітленості

Карта векторів. Дозволяє виводити растровий шар у вигляді сукупності векторів, що виходять з центру комірки сітки й спрямовані у бік максимального градієнта поля.

Модуль градієнта може бути відображений як кольором, так і довжиною або товщиною лінії. Приклад наведений на рис. 2.19.

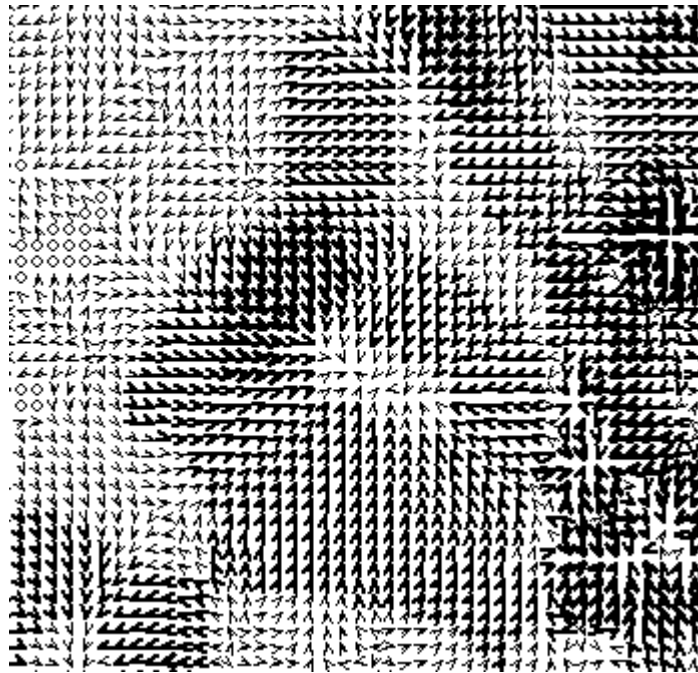


Рисунок 2.19 – Приклад карти векторів (модуль градієнта відображений товщиною лінії)

Довільний профіль. Модуль призначений для креслення графіків уздовж довільних поліліній числового шару. Графіки відбивають значення в комірках, через які проведена лінія. Вікно модуля наведене на рис. 2.20.

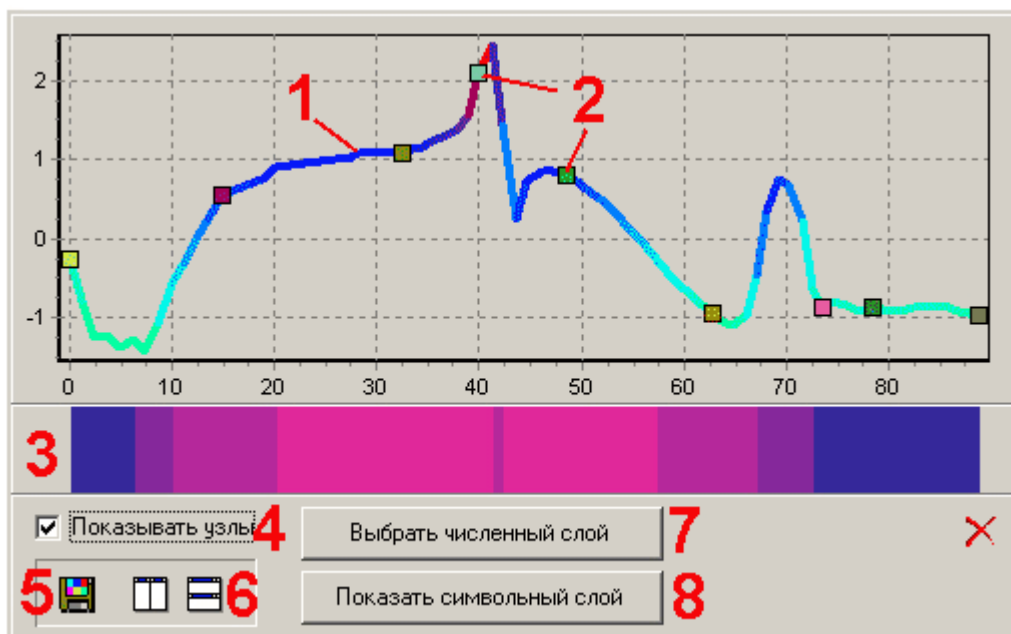


Рисунок 2.20 – Вікно побудови довільного профілю.

Елементи інтерфейсу вікна мають наступне призначення.

1. Графік поля уздовж ламаної.
2. Вузли графіка, що відповідають вузлам накресленої раніше ламаної лінії.
3. Значення символного шару уздовж ламаної.
4. Перемикач, керуючий виводом на екран вузлів графіка.
5. Кнопка, що дозволяє зберегти зображення графіка в графічному файлі.
6. Кнопки, що дозволяють побачити одночасно обидва вікна даної програми.
7. Кнопка для вибору числового шару, за значеннями якого будується графік.
8. Кнопка для вибору символного шару, відображуваного в елементі інтерфейсу 3.

Друк. Модуль призначений для висновку растрових карт на печатку. Дозволяє скомпонувати виведене зображення, додавши до карти сітку, рамку та інше оформлення, необхідне для печатки кондиційних карт відповідно до діючих стандартів. Вивід можливий на будь-який друкувальний пристрій, підключений до комп'ютера локально або через мережу.

3 ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ІНТЕГРОВАНОГО АНАЛІЗУ РІЗНОРІДНИХ І РАЗНОРІВНЕВИХ ДАНИХ

Загальні принципи функціонування технології

Технологія базується на методах теорії розпізнавання образів, обробки зображень, геостатистики й просторового аналізу. Технологія реалізує принцип багатоваріантного рішення задач за допомогою імітаційного моделювання й проведення обчислювальних експериментів [1]. Основна увага приділяється встановленню прямих зв'язків між просторовими закономірностями розташування досліджуваних об'єктів і явищ і структурою їхніх даних, що описують - фізичних полів, геологічних схем і карт, геохімічних ореолів, аерокосмічних знімків, морфологічними й ландшафтними особливостями рельєфу й ін.

Розроблена геоінформаційна система забезпечує інтеграцію растрових і векторних представлень даних, аналітичні, інформаційно-довідкові й вимірювальні функції; фільтрацію даних; формування нових ознак і побудова похідних карт, дослідження залежностей і статистичну обробку; багатомірне районування, кластеризацію й класифікацію; розпізнавання й картографування ситуацій, різноманітну візуалізацію даних, компонування й печатку вихідних документів (карт, схем, таблиць).

Система містить у собі ядро, що забезпечує управління геоданими, а також сукупність прикладних модулів, що вирішують конкретні задачі обробки й аналізу даних [4]. У якості вихідних використовуються дані, представлені в сітковій (фізичні поля й геохімічні дані, наведені до регулярної сітки), векторній (картографічні шари) і растровій (зображення, у т.ч. аерокосмічні) формах. Попередньо дані, представлені на паперових носіях, скануються, геореференціюються та, при необхідності, векторизуються.

Одним з основних етапів роботи технології є створення простору описів – сукупності картографічних шарів (ознак), що описують територію й відображають ті або інші аспекти досліджуваного явища або процесу. Оскільки блок розпізнавання працює з даними, заданими в точках регулярної сітки, то виникає необхідність приведення вихідних векторних даних до сіткового виду, при якому дані співвідносяться з вузлами сітки, що формують кінцеву множину об'єктів $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$... Із цією метою для векторних матеріалів (геологічних границь, розламів, вододілів і т.п.) розраховуються ознаки-характеристики, віднесені до вузлів регулярної сітки. Наприклад, відстань від вузла сітки до найближчого об'єкта певного типу (наприклад, джерела забруднення), кількість взаємних перетинань лінійних об'єктів одного або декількох типів (наприклад, розламів і геологічних границь), частота зустрічальності об'єктів у ковзній околиці й т.п. Звичайно подібні характеристики відбивають структурні взаємозв'язки між просторовими об'єктами.

У свою чергу дані, споконвічно представлені в сітковому виді (геофізичні поля, геохімічні ореоли й т.п.), піддаються різним трансформаціям у рамках спеціальної підсистеми трансформацій. Як свідчить досвід авторів і інших дослідників, використання трансформант у процесі прогнозування й моніторингу дає кращі результати в порівнянні з вихідними ознаками [1]. Система дозволяє виконувати більше 200 трансформацій, у тому числі диференціальні, текстурні, гістограмні, морфологічні, кореляційні, фрактальні й ін.

Окремі обробці при формуванні простору описів піддаються аерокосмічні матеріали. Справа в тому, що при рішенні багатьох задач надрокористування безпосереднє використання характеристик яскравості аерокосмічних матеріалів не завжди дає задовільні результати. Значно більше інформативними є результати аналізу лінійних і кільцевих елементів, попередньо виділюваних на зображеннях. Ці елементи відображають структурно-тектонічну обстановку, у тому числі й такі її деталі, які не

фіксуються класичними польовими геологічними методами [24]. В описаній з розділі 2 системі реалізована оригінальна підсистема аналізу аерокосмічних матеріалів, що включає засобу автоматичного виявлення лінійних і кільцевих елементів і розрахунку спеціальних характеристик мережі лінеаментів у ковзній околиці [2, 25].

Таким чином, кожній точці сітки з координатами (m,n) ставиться у відповідність вектор ознак $(m,n) \leftrightarrow X_{(m,n)}^{(p)}$; де p – розмірність вектора $X^p = (X_1, X_2, \dots, X_p)$, залежна від кількості наявних ознак.

Створений простір описів повинне бути мінімальним, але, у той же час, достатнім для рішення поставленої задачі з необхідною точністю й надійністю. Оскільки в цей час не розроблена формальна процедура, що дозволяє заздалегідь визначити оптимальний набір ознак, то при рішенні конкретних задач спочатку створюється вихідна система ознак-описів, а потім вона мінімізується шляхом відкидання ознак, несуттєвих з погляду рішення поставленої задачі [1]. Мінімізація виконується у два етапи. На першому за результатами візуального аналізу відкидаються свідомо неінформативні або дублюючі ознаки.

Другий етап має на увазі звужуюче відображення

$$\{X^p\} \xrightarrow{F} \{X^r\}, r < p, F = F(\pi_1, \dots, \pi_k),$$

при якому досягається екстремум деякого функціонала якості $J_X(F)$. Тут π_1, \dots, π_k – класи, у які групуються точки сітки, що мають певну спільність властивостей. Мінімізація функціонала $J_X(F)$ передбачає використання еталонів – ділянок земної поверхні з відомим характером прояву досліджуваного процесу або явища (наприклад, відомі родовища, епіцентри землетрусів і т.п.). Спочатку еталони групуються в класи відповідно до подань дослідника про близькість їхніх властивостей. Надалі необхідно оптимізувати склад і структуру еталонних класів, домагаючись їхньої більшої компактності в багатомірному просторі описів. Геоінформаційна система реалізує кілька підходів до рішення цієї задачі, що визначає якість результатів прогнозування в цілому.

Наявність еталонної вибірки дозволяє виконати другий етап мінімізації простору описів. Він заснований на пошуку діагностуючого набору ознак, що щонайкраще характеризує територію з погляду її подібності з еталонною вибіркою конкретного класу [1]. Діагностуючі набори розраховуються з використанням різних вирішальних правил і мер подібності; при цьому оцінюється імовірнісна помилка класифікації (ЙПК) набору. Оптимальним зізнається вирішальне правило, для якого мінімізується ЙПК діагностуючого набору. Ознаки, що не ввійшли в цей набір, з подальшого розгляду виключаються.

Знайдене вирішальне правило й мінімізований простір описів дозволяють перейти до процедур розпізнавання образів. Останнє має на увазі віднесення вихідних об'єктів (точок-вузлів сітки) $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ до певного класу π_k , $k=1, 2, K$. Це означає, що потрібно побудувати однозначне відображення множини X на множину класів

$$\Pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_k\} : X \longrightarrow \Pi.$$

Основу технології становлять такі процедури розпізнавання образів, як виділення шуканих об'єктів, поділ об'єктів на класи і їхнє ранжирування стосовно еталонів. Їхні результати представляються у вигляді прогнозних карт і схем, що відбивають перспективність території з погляду наявності або виникнення досліджуваних явищ і процесів. Блок оцінки якості прогнозу дозволяє визначити ступінь вірогідності результатів, а також застосовність використаних процедур у цілому. Відомо, що процедури, що припускають наявність еталонів (тобто реалізують метод аналогій), не завжди ефективні. Це пов'язане з унікальністю деяких природних явищ (наприклад, великих рудних родовищ). У зв'язку із цим технологія реалізує підхід до прогнозування, заснований на побудові карт складності геологічної будови [25]. Підхід базується на припущенні, що більше складна будова перспективно з погляду як наявності зрудення, так і виникнення небезпечних геологічних явищ.

Крім того, технологія дає можливість залучення методів регресійного, кореляційного, кластерного, а також лінеаментного аналізу. Так, останній

дозволяє вирішувати цілий комплекс задач, особливо в області пошуків корисних копалин, а також пророкування надзвичайних геологічних ситуацій (зсувів, карстів і т.п.). Наприклад, відома приуроченість нафтогазових родовищ до зон підвищеної анізотропії мережі лінементів [15], а золоторудних - до перетинань лінементних зон субширотного й субмеридіонального простягання [26]. Становить великий інтерес вивчення закономірностей чергування лінійних структур різних систем, а також випадки порушення таких закономірностей.

Знайдені перерахованими вище способами прогностні результати подаються на вхід блоку прийняття рішень, що дозволяє погодити інформацію, отриману з використанням різних підходів [25], створити результуючі карти й схеми, сформулювати рекомендації із проведення подальших досліджень.

Узагальнена схема технології й функціональна схема геоінформаційної системи

Узагальнена технологічна схема розробленої геоінформаційної технології, що є по своїй суті схемою проходження даних на шляху від їхнього уведення до рішення поставленої задачі через сукупність процедур їхньої обробки й перетворення. Зазначена схема наведена на рис. 3.1.

Всі основні етапи технології реалізовані за допомогою блоків і модулів розробленої геоінформаційної системи, описаної в розділі 2. Її функціональна схема наведена на рисунку 3.2. Як видно, функціональна схема трохи відрізняється від структурної, наведеної в розділі 2 у таблицях 2.1-2.9. Це пов'язане із багатофункціональністю деяких модулів, які можуть бути використані для рішення зовсім різних про свою суть задач із використанням одного математичного й алгоритмічного апарата. Так, наприклад, блок відновлення даних може бути використаний як для заповнення пропусків у даних, так і для переінтерполяції з нерегулярної сітки на регулярну, а модулі

блоку кластеризації - як для розбивки території на однорідні області (районування), так і для вивчення структури еталонних класів.

Оскільки деякі технологічні етапи реалізуються за допомогою декількох модулів системи, а ряд функцій може бути виконаний у різних модулях, залежно від конкретної розв'язуваної задачі, нижче наводиться таблиця відповідності між технологічними етапами і їх окремими складовими частинами й модулями, їх що реалізують.

Таблиця 3.1 – Технологічні етапи технології й модулі системи, їх що реалізують

Технологічні етапи	Модулі системи
Векторизація	Редагування векторних об'єктів
Сканування	Виконується зовнішніми програмами
Прив'язка	Прив'язка зображень
Корекція	Обробка зображень Фільтрація космоснімків Редагування шарів Карта графіків
Перетворення даних у геоінформаційної системи	Створення нової сітки Імпорт-Експорт Імпорт-Експорт векторних даних
Інтерполяція	Створення нової сітки Імпорт-Експорт Відновлення даних
Фільтрація	Модулі блоку фільтрацій Редагування шарів Карта графіків

Продовження таблиці 3.1

Обробка зображень	Обробка зображень Обробка бінарних шарів
Виділення лінеаментів і кільцевих структур	Обробка бінарних шарів (+) Виділення лінійний і кільцеві елементи
Розрахунок сіткових трансформант	Блоки модуля трансформацій Одержання некорельованих шарів (МГК)
Розрахунок характеристик векторних об'єктів	Аналіз лінеаментів або Растризація (+) Обробка бінарних шарів
Мінімізація ознакового простору. (Візуальне відбраковування ознак)	Модулі блоку графіки. Керування списком шарів
Формування еталонних класів	Завдання еталонів
Аналіз і корекція структури еталонних класів	Модулі блоку кластеризації Багатомірне шкалювання Діаграма розкиду
Вибір вирішальних правил і мер подібності	Діагностуючий набір Детерміністські методи розпізнавання й ранжирування
Мінімізація ознакового простору. (Побудова діагностуючих наборів)	Діагностуючий набір
Оцінка ймовірності помилкової класифікації	Діагностуючий набір

Продовження таблиці 3.1

Лінеаментний аналіз	Виділення лінійних і кільцевих об'єктів Обробка бінарних шарів Арифметичні/тригонометричні трансформації Аналіз лінеаментів
Кластерний аналіз	Модулі блоку кластеризації Побудова дендрограм шарів Багатомірне шкалювання
Факторний аналіз	Одержання некорельованих шарів (МГК)
Виділення об'єктів	Виділення комплексних аномалій Модулі блоку фільтрацій
Поділ об'єктів	Модулі блоку розпізнавання
Ранжирування об'єктів	Детерміністські методи розпізнавання й ранжирування
Розрахунок карт складності	Обробка зображень (+) Обробка бінарних шарів або Диференціальні трансформації (+) Арифметичні/тригонометричні трансформації
Оцінка якості прогнозу	Оцінка якості прогнозу
Блок прийняття рішень	Статистики Побудова дендрограм шарів Модулі блоку графіки Модуль друку

Примітка: Значок (+) позначає, що модулі обов'язково повинні викликатися послідовно

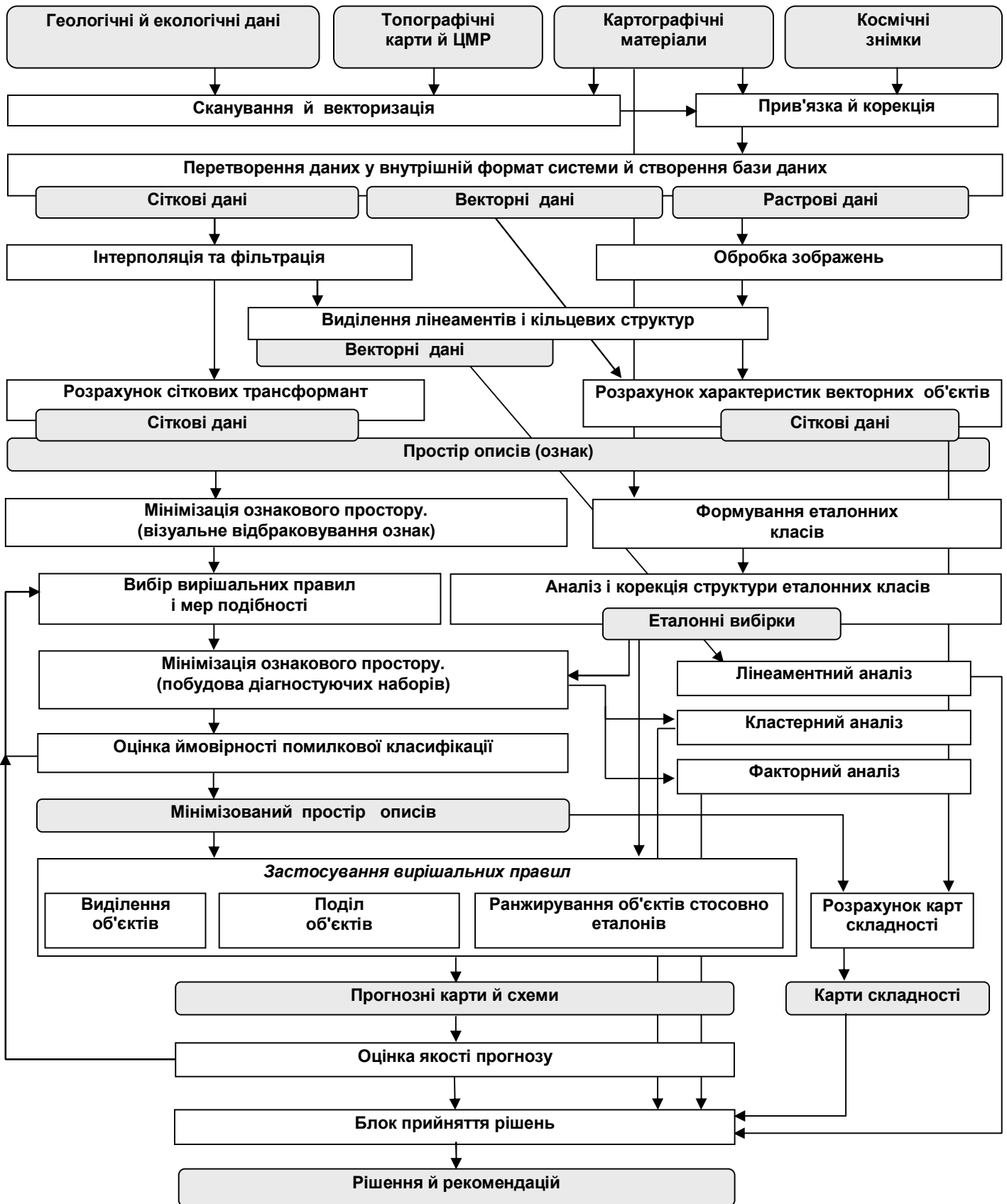


Рисунок 3.1 – Узагальнена технологічна схема геоінформаційної технології

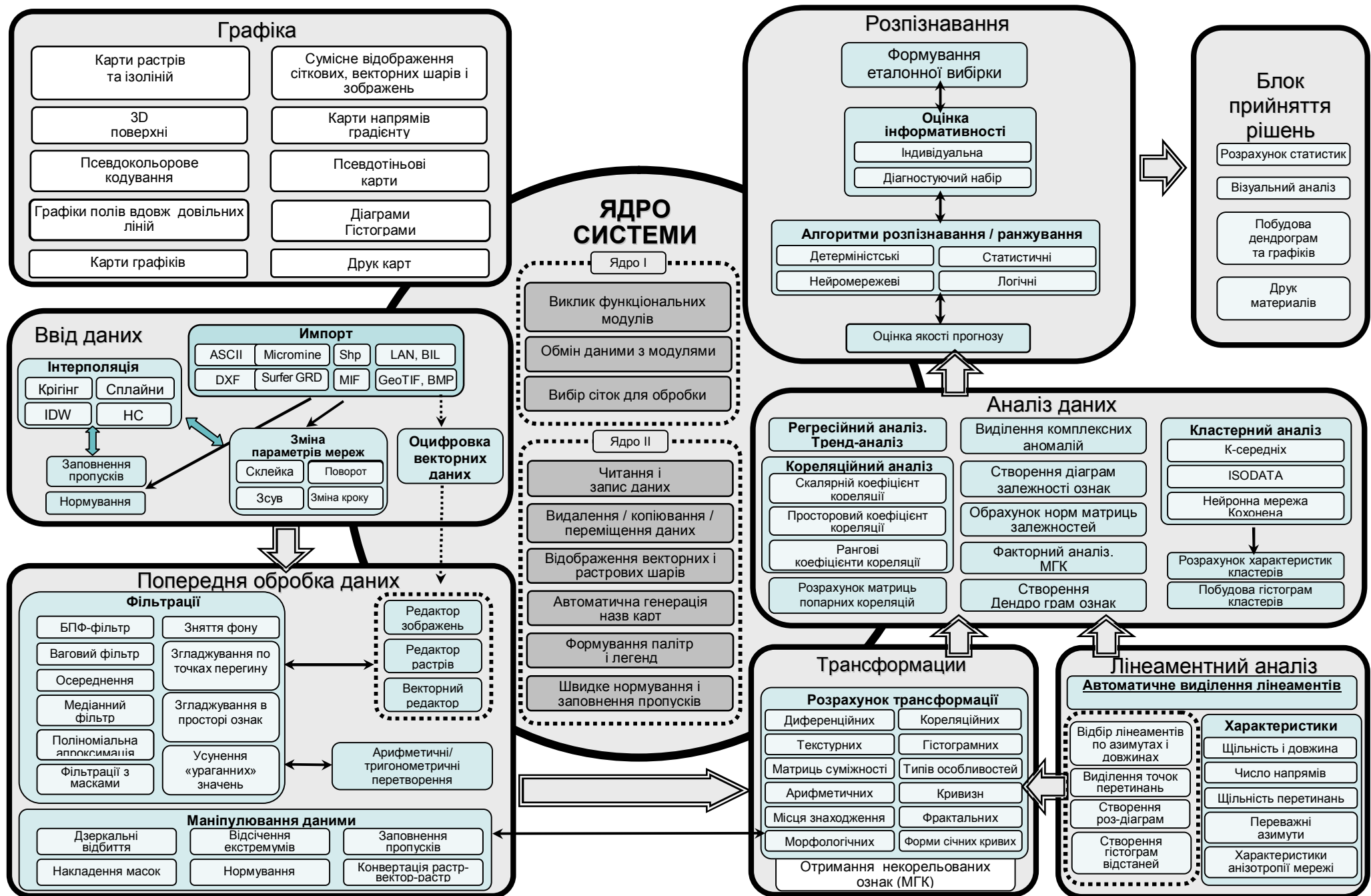


Рисунок 3.2 – Структурна схема геоінформаційної системи

Основні процедури інтегрованого аналізу даних і їх реалізація в геоінформаційній системі

Нижче даний опис основних технологічних процедур, використовуваних для інтегрованого аналізу різнорідний і різнорівневий даних (рис. 3.1), і показаний спосіб їхньої реалізації в середовищі розробленої геоінформаційної системи.

Також у підрозділі даний опис ключових функціональних блоків і модулів геоінформаційної системи, що реалізує розроблену технологію, і характеру їхньої взаємодії з іншими блоками системи.

Обчислення текстурних трансформацій. Дані трансформації, уперше запропоновані Хараліком [27] як характеристики текстур, відбивають неструктурні особливості геозображення й можуть бути досить корисними при формуванні ознакового простору й діагностуючого набору шарів-ознак. Характеристики текстури обчислюються по матрицях суміжності значень шару й оцінок функції варіограми. У якості текстурних трансформант зображення можуть виступати двовимірні статистичні характеристики або, що ті ж саме, статистики другого порядку [10]. Вони, на відміну від одномірних статистичних характеристик, що працюють із вектором чисел, застосовуються для обробки просторових даних, представлених у вигляді двовимірного масиву. Для розрахунку текстурних трансформацій часто використовуються значення елементів матриці спільної появи (МСП) - квадратної матриці довільного розміру. Загальна схема обчислень наведена на рисунку 3.3. Оцінки функції варіограми обчислюються в окремому однойменному модулі, а нормування зображень забезпечується модулем «Маніпуляції із шарами».

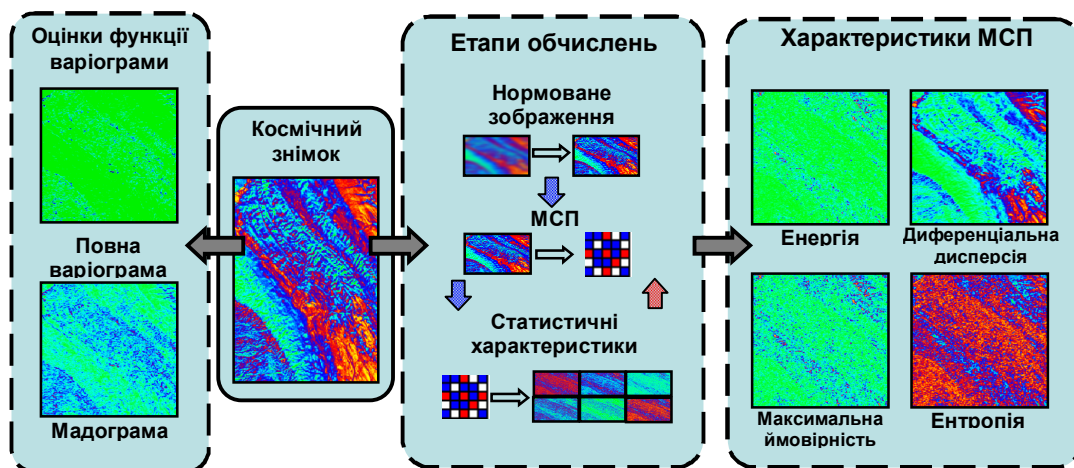


Рисунок 3.3 – Структурна схема обчислення текстурних трансформант по характеристиках МСП

Обчислення фрактальних розмірностей. Дана процедура реалізована модулем «Фрактальні розмірності». Фрактальна розмірність використовується в задачах аналізу текстури зображень. Зміна значень фрактальної розмірності пов'язана з наявністю у відповідних ділянках границь однорідних по яскравості фрагментів, що відповідають найпростішим складових зображень. Крім того, карта, що відбиває фрактальні розмірності, може бути корисною при формуванні ознакового простору й рішенні прогнозних задач методами розпізнавання й ранжирування.

Теоретичні основи методу наведені в розділі 2.4. Загальна схема обчислень показана на рисунку 3.4.

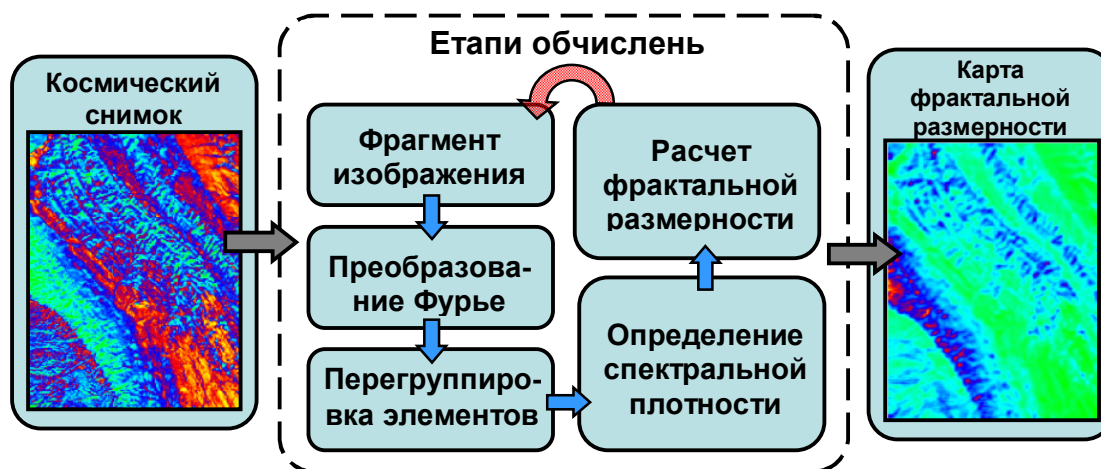


Рисунок 3.4 – Структурна схема обчислення фрактальних розмірностей

Виділення лінеаментів і кільцевих структур. Зазначений блок реалізується двома модулями геоінформаційної системи - «Обробка бінарних шарів» і «Виділення лінійних і кільцевих елементів». У першому модулі вихідне повноколірне зображення - космічний знімок, растрова карта фізичного поля або цифрова модель рельєфу за допомогою оптимального детектора Кенні [7] перетвориться в бінарну карту, де одиницями виділені границі яскравості вихідного зображення.

Далі отримана бінарна карта подається на вхід модулю виділення лінійних і кільцевих структур, де за допомогою імовірнісного або випадкового перетворення Хафа [28, 29] протяжні границі яскравості перетворюються у векторні прямолінійні об'єкти (лінеаменти) або кільцеві/дугові об'єкти, що представляються полілінійними/полігональними векторними об'єктами. Структурна схема обчислень наведена на рис 3.5а.

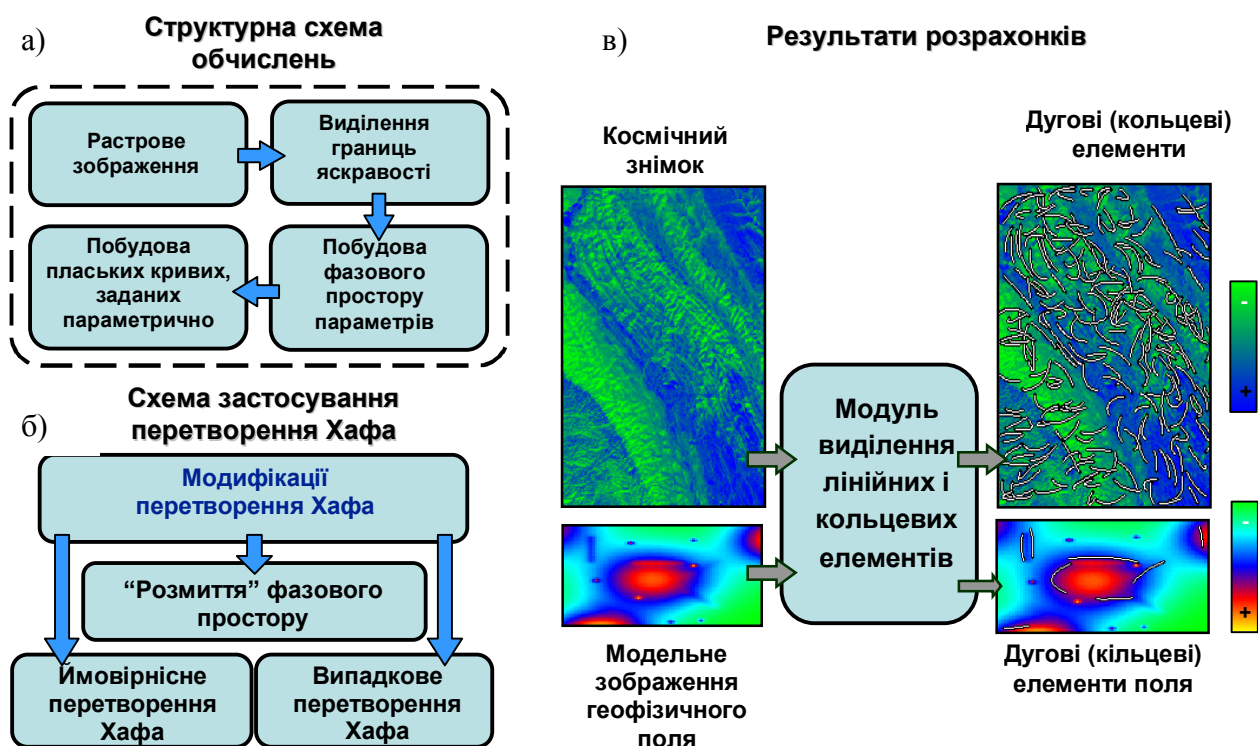


Рисунок 3.5 – Структурна схема виділення (а), схема застосування перетворення Хафа (б) і приклади виділення кільцевих структур (в) блоком виділення лінеаментів і кільцевих структур

Сегментація зображень. Ця процедура реалізується однойменним модулем, що входить у блок трансформацій. Сегментація - процес, що дозволяє виділити на геозображенні а) однорідні області або б) границі між цими областями. У модулі реалізований широко відомий метод нарощування областей і метод структурно-гармонійної сегментації.

Вирощування областей - процедура, що групує пікселі або під-ділянки в більші області по заздалегідь заданих критеріях

Тектурно-гармонійна сегментація використовується для ідентифікації областей на основі їхньої текстури й оцінці гармонійних складових значень елементів зображення.

Схема виконання цих методів наведена на рисунку 3.6.

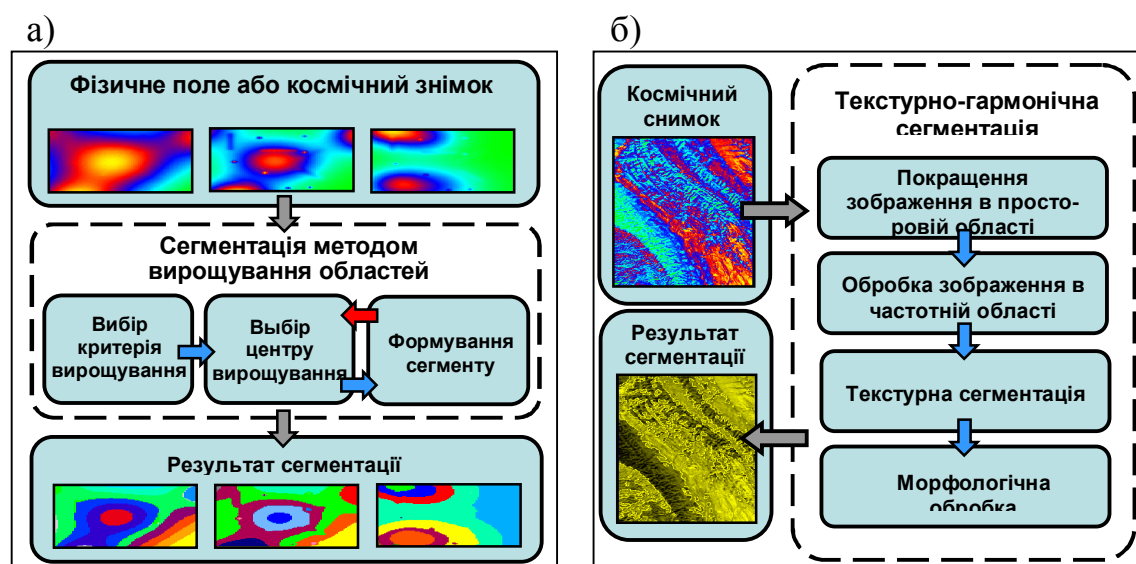


Рисунок 3.6 – Структурна схема сегментації методами вирощування областей (а) і текстурно-гармонійної сегментації (б)

Лінеаментний аналіз. Описані вище процедури виділення лінійних і кільцевих структур і сегментації є частинами більшого процесу - лінеаментного аналізу, що дозволяє вирішувати широке коло геологічних і геоecологічних задач шляхом вивчення лінійних елементів геозображень - космічних знімків, фізичних полів (у першу чергу, гравітаційних і магнітного) а також цифрових моделей геоповерхонь (рельєфу, структурних горизонтів, фундаменту й т.п.).

Лінеаментний аналіз містить у собі виділення лінеаментів, розрахунок характеристик побудованих мереж лінеаментів, оцінка ступеня еквідистантності односпрямованих лінеаментів, а також ряд аналітичних операцій, спрямованих на виявлення зв'язків межу лінеаментною мережею й геологічними об'єктами, що прогнозуються. Структурна схема лінеаментного аналізу наведена на рисунку 3.7.

Там же показані основні зв'язки блоку лінеаментного аналізу з іншими функціональними блоками й модулями створеної геоінформаційної системи: модулями імпорту, що дозволяють одержати аналізовані матеріали, блоком трансформацій, що дозволяє одержати трансформації зображень, більш придатні для виділення лінійних і кільцевих елементів у порівнянні з оригіналами; блоками кластеризації й розпізнавання, які можуть використовувати отримані карти характеристик лінеаментної мережі для виконання прогнозних операцій; блоком графіки, що забезпечує візуальний аналіз проміжних і кінцевих результатів лінеаментного аналізу, а також блоком прийняття рішень, у якому можуть бути використані виявлені зв'язки між мережею лінеаментів і положенням шуканих геологічних об'єктів.

Мінімізації ознакового простору. Виконання цієї процедури містить у собі візуальне відбраковування свідомо низькоінформативних ознак з використанням модулів блоку графіки, розрахунок індивідуальної інформативності й побудову діагностуючого набору у відповідних модулях.

Схема мінімізації ознакового простору представлена на рис. 3.8. Більш детальна інформація про виконувані операції наведена в розділі 2.

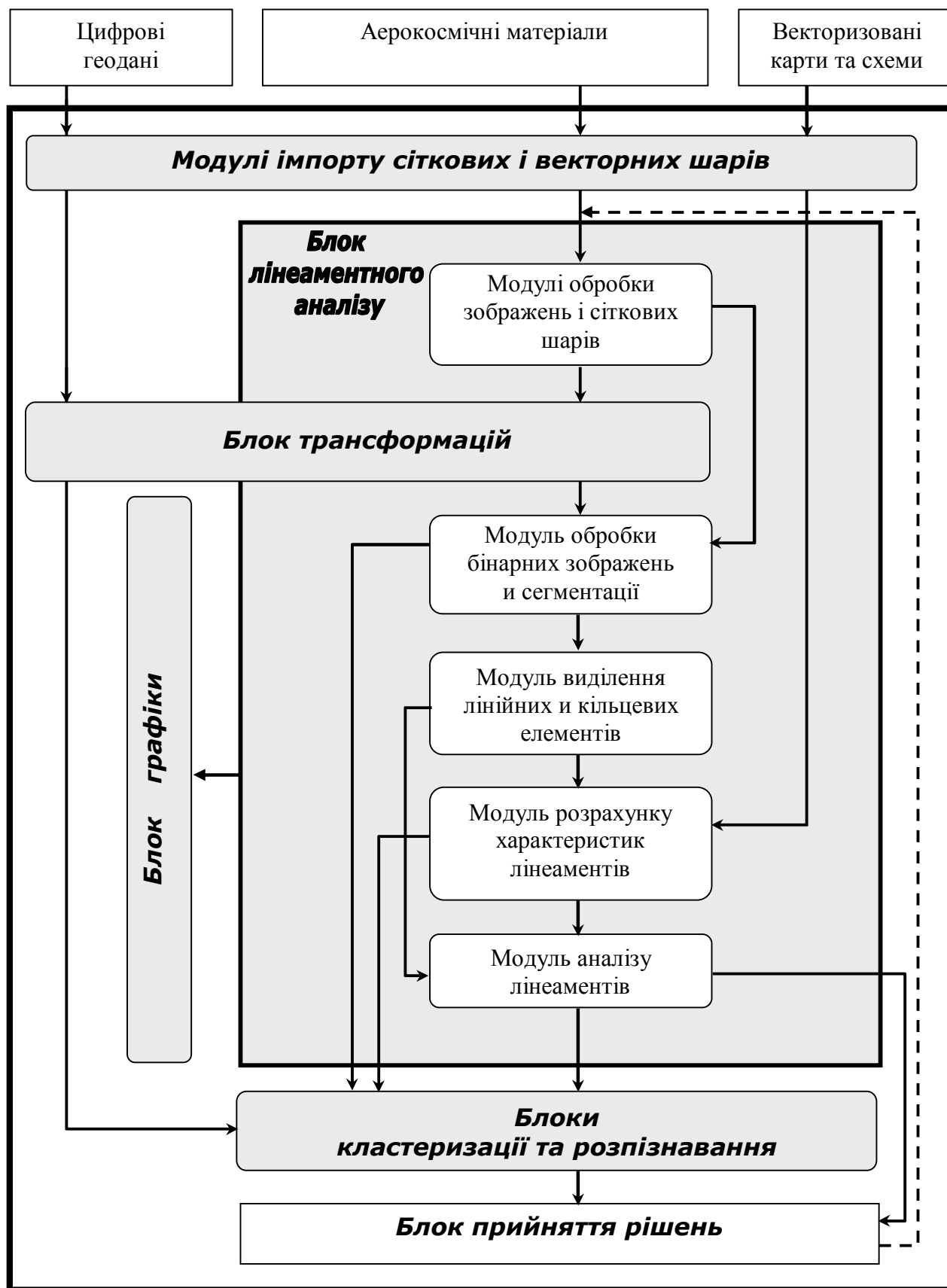


Рисунок 3.7 – Структурна схема підсистеми лінеаментного аналізу

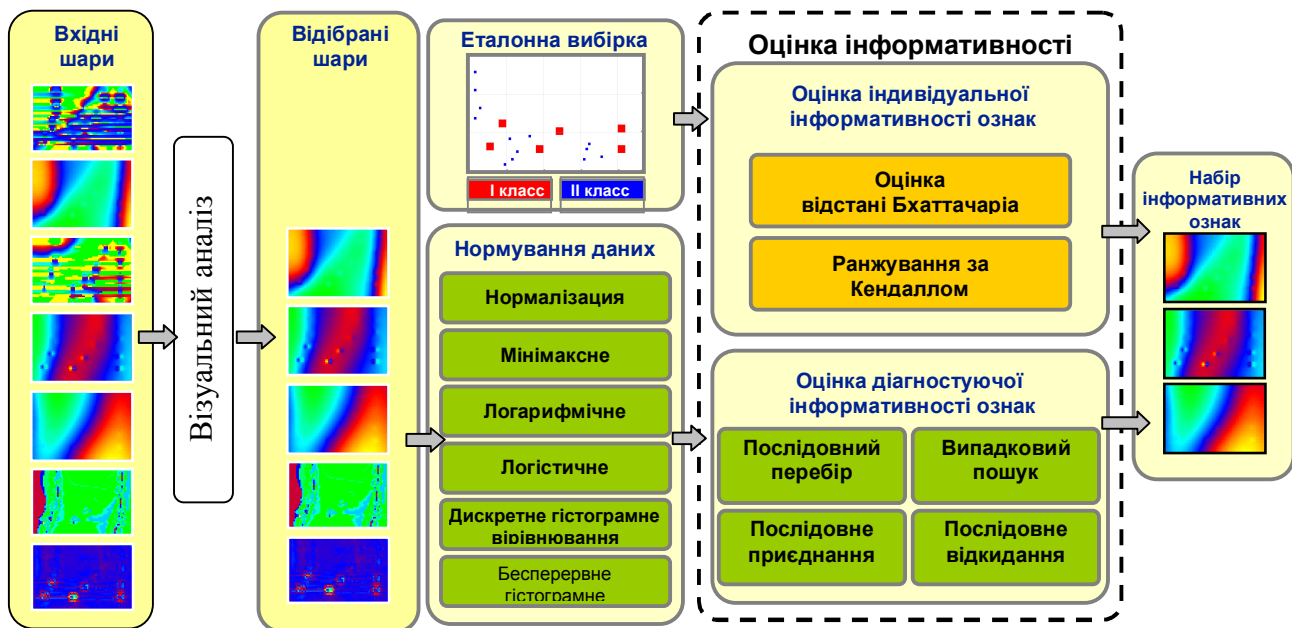


Рисунок 3.8 – Загальна схема процедури мінімізації ознакового простору

Розпізнавання. Процедура розпізнавання реалізована рядом модулів однойменного блоку. Основна її ціль – розділення території на класи з використанням набору еталонних вибірок. Використовуються чотири основних підходи до розпізнавання - детерміністський, статистичний, логічний і неймережевий.

Узагальнена структурна схема розпізнавання, реалізована в розробленій геоінформаційній системі, показана на рис. 3.9.

Там же показані основні зв'язки блоку розпізнавання з іншими блоками геоінформаційної системи: блоком трансформацій і модулями виділення й аналізу елементів, які створюють сукупність шарів-ознак; блоком кластеризації, що дозволяє аналізувати й коректувати структуру еталонних класів; блоком графіки, що забезпечує візуальний аналіз простору описів і результатів розпізнавання а також блоком прийняття рішень, що полегшують фахівцеві-інтерпретаторові процес формулювання висновків і постановку задач для подальших досліджень.

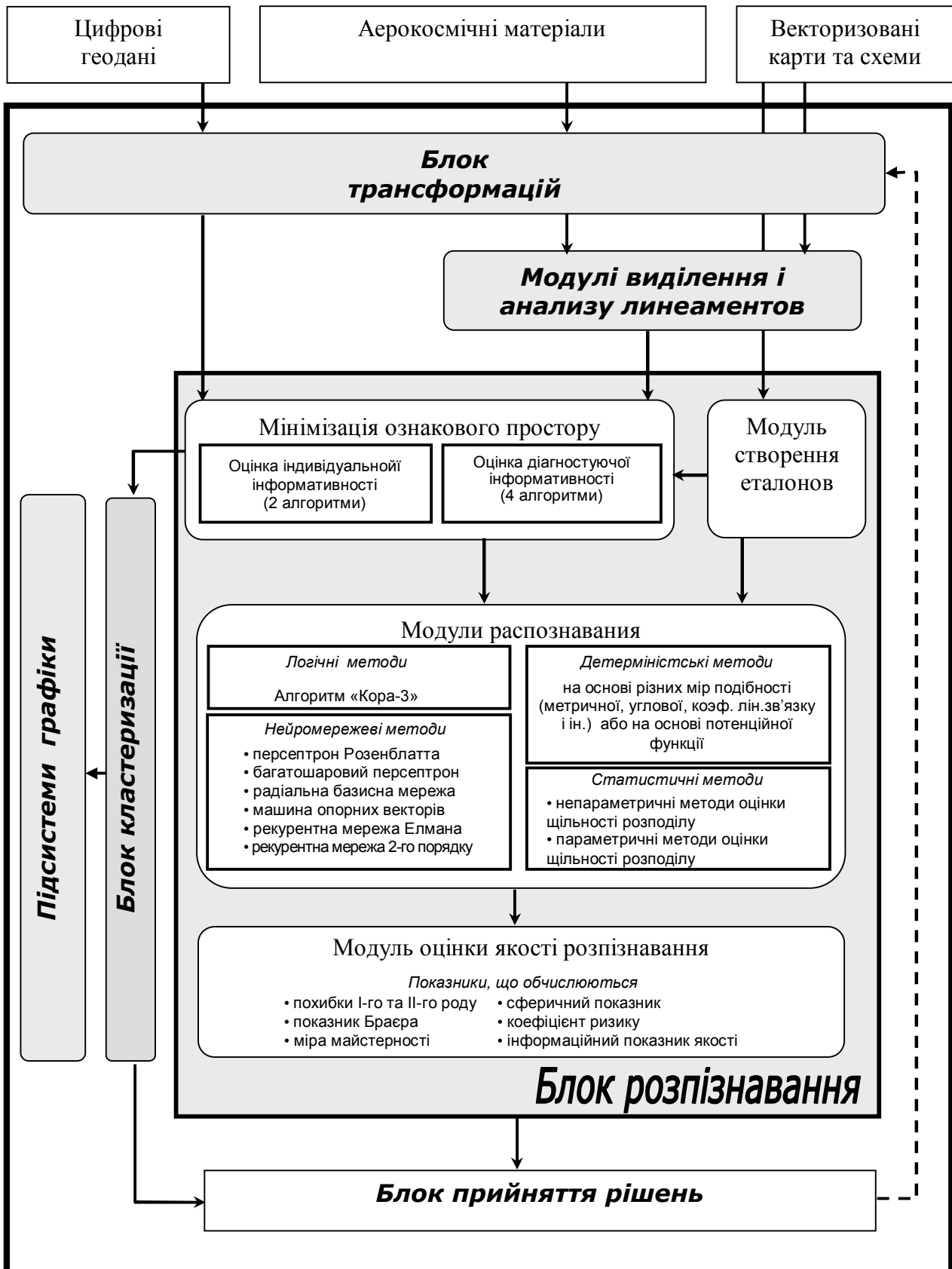


Рисунок 3.9 – Структурна схема виконання процедур розпізнавання

4 ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СКУПЧЕНЬ МЕТАНУ ШАХТНИХ ПОЛІВ

У справжньому розділі наведені методика й результати застосування розробленої геоінформаційної технології при рішенні практичної задачі прогнозування аномальних покладів метану в межах території шахти ім.Засядько (Центральний Донбас) по космічним, наземним і свердловинним даним. Дана задача цікава тим, що поєднує в собі як геологічні, так і геоєкологічні аспекти. Метан, що перебуває в шарах піщанику й вугілля, є не тільки коштовним корисним копалинам, але й потенційним джерелом небезпечних ситуацій. Тому рішення задачі прогнозу покладів метану в межах шахтного поля має величезне значення.

4.1 Характеристика ділянки досліджень

Досліджувана ділянка розміром 9.1x7.0 км розташовується на території Донецького вугільного басейну між містами Донецьк і Ясинувата й охоплює шахтне поле діючої шахти ім.Засядько. Ділянка являє собою горбкувату рівнину з перепадом висот від 155 до 272 м над рівнем моря. Ландшафт піддався інтенсивним антропогенним змінам; близько 10% території зайнято гірничопромисловими спорудженнями. По ділянці протікає струмок, що пересихає, із загатою.

У геологічній будові ділянки беруть участь відкладення середнього карбону свит Z_2^5 , Z_2^6 і Z_2^7 , представлені шарами піщаників, що чергуються різними по потужності, алевролітів і аргілітів, що вміщують малопотужні шари вапняків і вугілля.

У центральній і східній частинах ділянки широко розвинені складчасті й розривні порушення субмерідионального й субширотного напрямків. Тектонічна будова площі дуже складна й характеризується великою кількістю розривних порушень із амплітудами 20-50 м, а також наявністю малоамплітудної тектоніки, що значно ускладнює будову вугільних шарів. Широко поширені зони вторинної

зміненості порід і зони тріщинуватості, які сприйнятливі для проникнення гідротермальних розчинів, мають природну обвідненість й супроводжуються аномаліями радіоактивних і метан-вуглекислих газів.

Простягання вугленосної товщі близьке до субширотного, з падінням на північний захід під кутами 3-18°. У зонах флексурних складок кути падіння порід сягають 60°. У наш час розробляються шари M_3 і L_4 , що знаходяться на глибинах до 1200 м. Вугілля цих шарів схильні до самозаймання. Вільний метан концентрується в локальних позитивних складках шарів піщаників, перекритих слабо проникними вапняками й аргілітами. Також відзначається приуроченість відомих скупчень метану до розривних порушень, які фіксуються наземними геофізичними методами. Найбільш перспективним вважається шар піщаників $m_4^0 S m_4^1$, що знаходиться в інтервалі між вугільним шаром M_3 і шаром вапняків M_5 .

4.2 Вихідні дані

Пропонована геоінформаційна технологія прогнозу скупчень метану дозволяє обробляти й аналізувати дані різного характеру (геологічні, геофізичні, геохімічні, ландшафтні), отримані з різних джерел (свердловинних, наземних, космічних).

При виконанні прогнозу на досліджуваному шахтному полі використовувалися:

- геологічні карти й схеми масштабу 1:25 000;
- майданні зйомки гравітаційного поля масштабу 1:25 000 (покривають всю досліджувану ділянку) і 1:10 000 (покривають частину території);
- модель рельєфу, побудована за матеріалами космічної радарної зйомки SRTM [30]
- дані про газоносність 149 свердловин, розташованих у межах шахтного поля;
- карти, що відбивають властивості піщанику $m_4^0 S_4^1$, побудовані за результатами вимірів у свердловинах. До них відносяться значення потужності шару, коефіцієнта пористості й ін.
- карти покрівлі й ґрунту вугільних шарів M_3 і L_4 і піщаників $m_4^0 S_4^1$ і $n_1^0 S_4^1$

Раніше проведені дослідження [31] показали, що сприятливими факторами для пошуків потенційних скупчень метану є:

- локальні підняття на горизонті шару M_3 ;
- підвищені значення коефіцієнта відносної потужності піщанику $m_4^0 S_4^1$;
- підвищені значення потужності піщанику $m_4^0 S_4^1$;
- підвищені значення коефіцієнта пористості піщанику $m_4^0 S_4^1$;
- локальні мінімуми гравітаційного поля.

4.3 Застосування технології

В основі технології лежить описана вище геоінформаційна система, що дозволяє виконувати прогноз різноманітних об'єктів і явищ із комплексу прямих і непрямих ознак.

Ключову роль при рішенні прогнозних задач грають методи розпізнавання образів. Технологія прогнозу заснована на виконанні послідовних етапів: попередньої обробки даних, створення навчальної вибірки, створенні й оптимізації простору ознак [1], безпосередньо розпізнавання й оцінки його якості. У якості допоміжних використовуються процедури виділення комплексних аномалій, обчислення різних норм кореляційних і коваріаційних матриць, кореляційний, кластерний, факторний, регресійний, лінеаментного, тренд-аналізу й т.д.

Схема технології прогнозу наведена на рис. 4.1. Вона є часткою slučajної схеми, наведеної на рис. 3.1.

Нижче описаний порядок виконання досліджень із вказівкою конкретних використовуваних модулів геоінформаційної системи.

Попередня обробка даних. Всі геологічні, тектонічні й структурні карти попередньо прив'язуються географічно й оцифровуються. Об'єкти карт (наприклад, розлами, геологічні границі, устя свердловин і т.п.) групуються в окремі векторні тематичні ГІС-шари (*модуль «Імпорт/експорт векторних даних»*).

Сіткові дані (геофізичні поля, космічні знімки, площинні дані про властивості шарів вугілля й вапняків) перевіряються на наявність помилок (*модулі блоку*

Графіки; модуль «Фільтрація ураганних значень») і приводяться до єдиної сітки (*модулі «Імпорт-Експорт» або «Відновлення даних»*). Космічні знімки піддаються геометричній й градаційній корекції й ряду інших перетворень (*модулі «Обробка зображень», «Фільтрація космознімків»*).

Лінеаментний аналіз.

На геофізичних картах, моделях рельєфу й космічних знімків виділяються лінеаменти (лінійні елементи), що мають геологічну природу (*модуль «Виділення лінійний і кільцеві елементи»*). Більшість із них пов'язане з різними тектонічними порушеннями земної кори. Оскільки близько 70% метанових покладів Донецького вугільного басейну пов'язані з розламними структурами, лінеаментний аналіз відіграє важливу роль при прогнозі перспективних ділянок. Виділення лінеаментів проводиться експертом-геологом в інтерактивному режимі, з використанням ряду спеціальних методик візуалізації аналізованих карт. Лінеаменти, виділені по окремих геозображеннях (космічним знімкам, растровим картам геофізичних полів і т.п.), об'єднуються (*модуль «Арифметичні/тригонометричні трансформації»*) і піддаються подальшому аналізу, що включає розрахунок спеціальних трансформацій, виділення переважних напрямків і відстаней між лінеаменами (*модуль «Аналіз лінеаментів»*)

Формування еталонів. Технологія широко використовує методи розпізнавання з еталонами й ранжирування. Як еталони використовуються свердловини із проведеними вимірами газоносності. Так, на території досліджуваного шахтного поля пробурене більше двохсот свердловин, що досягають глибини 1500 м. В 9 свердловинах зафіксована підвищена газоносність. Вузли сітки над цими свердловинами формують перший клас еталонів, умовно називаний «перспективним», а ті, що залишилися, попадають в «безперспективний» клас (*модуль «Завдання еталонів»*).

Далі за допомогою спеціальних методів [1] класи еталонних об'єктів аналізуються (*модулі блоку кластеризації, «Багатомірне шкалювання», «Діаграма*

розкиду»), і, при необхідності, розділяються на підкласи (модуль «Завдання еталонів»), що беруть участь у подальших розрахунках.

Розрахунок трансформацій і формування ознакового простору. Одним з основних етапів технології є створення простору ознак – сукупності картографічних шарів, що описують кожну точку території й відбивають різних аспектів газоносності й пов'язаних з нею явищ. Як показали дослідження, вхідні ознаки (гравітаційне поле, модель рельєфу, характеристики вугільного шару й шару піщаників) не мають достатню інформативність для проведення достовірного прогнозу. Для одержання більше інформативних ознак необхідний розрахунок їхніх різноманітних трансформацій. Розроблена система дозволяє виконувати більше 200 трансформацій, у тому числі диференціальні, текстурні, гістограмні, морфологічні, кореляційні, фрактальні й ін. (модулі блоку *Трансформацій*) Окремо розраховуються різноманітні характеристики мережі лінеаментів, що відбивають структурно-тектонічну обстановку на ділянці [3] (модуль «Аналіз лінеаментів»).

Оскільки в цей час не розроблена формальна процедура визначення оптимальний набір ознак, то спочатку створюється вихідна система ознак, що представляє собою сукупність обмірюваних геолого-геофізичних характеристик території, а також їхніх трансформант. Надалі отриманий ознаковий простір мінімізується шляхом відкидання несуттєвих ознак. Мінімізація виконується у два етапи. На першому за результатами візуального аналізу відкидаються свідомо неінформативні або ознаки, що дублюються (модулі блоку *Графіки*). На другому етапі визначається т.зв. «діагностуючий набір» ознак [1], а також вирішальне правило класифікації, при яких мінімізується певний функціонал якості розпізнавання (звичайно імовірнісна помилка класифікації) (модуль «*Діагностуючий набір*»). Діагностуючі набори розраховуються окремо для кожного раніше сформованого підкласу еталонних об'єктів. Подальші розрахунки виробляються тільки для ознак, що ввійшли у відповідний діагностуючий набір.

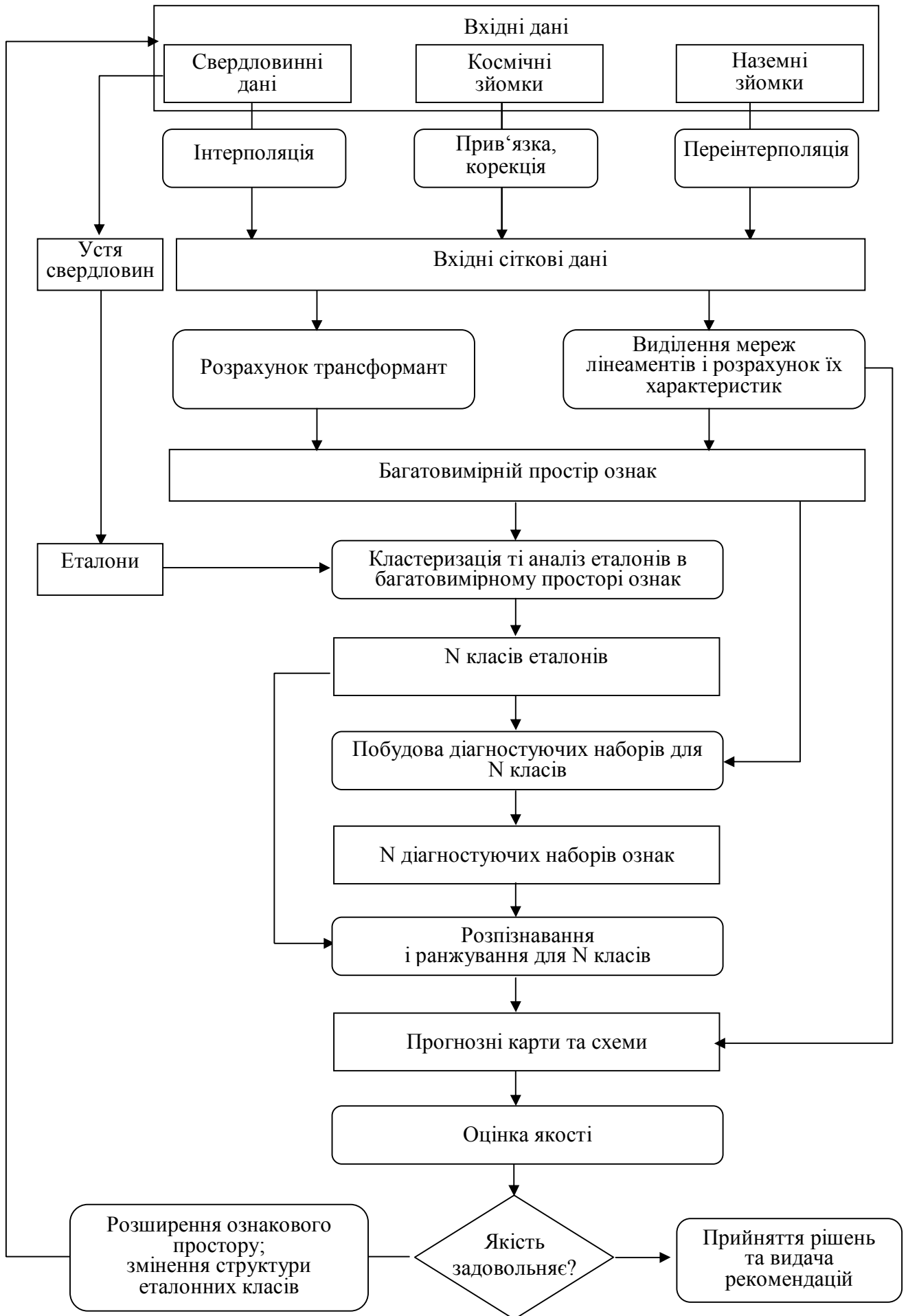


Рисунок 4.1 – Схема технології прогнозу покладів метану вугільних полів

Прогнозування й оцінка якості. Обране на попередньому етапі вирішальне правило й мінімізований простір ознак дозволяють перейти до процедур прогнозування – розпізнаванню (модулі «Детерміністські методи розпізнавання й ранжирування», «Статистичні.....», «Логічні...», «Нейромережеві...»), при якому кожна точка території ставиться до одного з еталонних класів, і ранжируванню, що полягає в оцінці деякої міри подібності території з одним з еталонних класів у багатомірному просторі ознак (Модуль «Детерміністські методи розпізнавання й ранжирування»).

Ці процедури виконуються окремого для кожного підкласу еталонних об'єктів. У результаті будуються прогнозні карти, що відбивають перспективність території з погляду наявності аномальних скупчень метану в товщі порід. На прогнозних картах виділяються ділянки, що рекомендуються для подальшого вивчення (модуль «Редагування векторних об'єктів»).

Необхідним етапом є оцінка якості отриманих результатів. Для цього виділені аналізується влучення «перспективних» і «безперспективних» еталонів у виділені ділянки (модуль «оцінка якості прогнозу»). Кращої є ситуація, коли усередину ділянок попадає максимальна кількість «перспективних» еталонів, і мінімальне - «безперспективних». У випадку якщо якість прогнозу визнається незадовільним, рекомендується провести додаткові дослідження еталонних класів і змінити ознаковий простір, або залучити додаткові вихідні дані.

4.4 Результати прогнозу скупчень метану на шахтному полі шахти ім. Засядько

Описана технологія була використана для прогнозу нових покладів метану на досліджуваному шахтному полі.

Як вихідні шари-ознак (рис. 4.2) для розпізнавання й ранжирування використовувалися:

F1 - гравітаційне поле Vz масштабу 1:25 000

F2 – амплітуда локальних структур вугільного шару M_3 ;

F3 – потужність піщанику $m_4^0 S_4^1$;

F4 – значення коефіцієнта пористості піщанику $m_4^0 S_4^1$;

F5 – коефіцієнт відносної потужності піщанику $m_4^0 S_4^1$

F6 - сумарна потужність піщаників у межах інтервалу;

F7 - значення висот рельєфу денної поверхні, отримані з радарного космічного знімка.

F 8-F11 – карти покрівлі й ґрунту вугільних шарів M_3 і L_4 і піщаників m_4 і n_1 ;

Дані були наведені до єдиної регулярної сітки 20x20 м і нормовані на розмах [0..1].

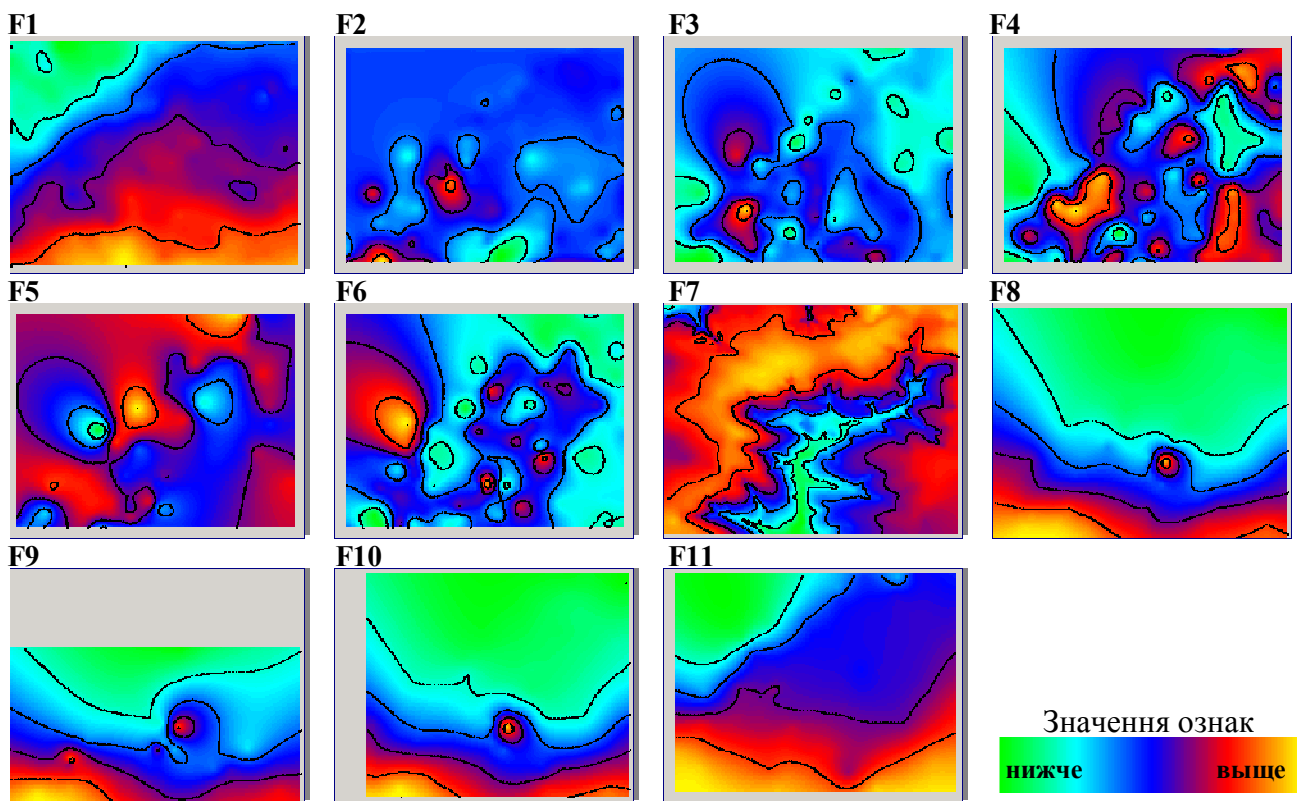


Рисунок 4.2 – Карти вхідних ознак F1-F11

Використовуючи спеціальні методи, були розраховані кілька сотень трансформант – диференціальних, інтегральних, гістограмних, кореляційних і інші (модулі блоку *Трансформацій*).

Більшість нових ознак-трансформант мають більшу інформативність, чим вихідні набори даних, що ілюструє рис. 4.3. На ньому наведені гістограми, побудовані за значеннями вихідних ознак об'єктів «перспективного» (точки над свердловинами з підвищеної газоносністю) і «безперспективного» (точки над іншими свердловинами) класу (Модуль «Графіки розподілу значень шарів по класах»). По горизонтальній осі відкладені значення ознак, по вертикальній - їх частість. Видно, що графіки в значній мірі перекриваються, що свідчить про невисоку інформативність цих ознак і неможливості надійного поділу за їхніх значеннях свердловин першого й другого класу.

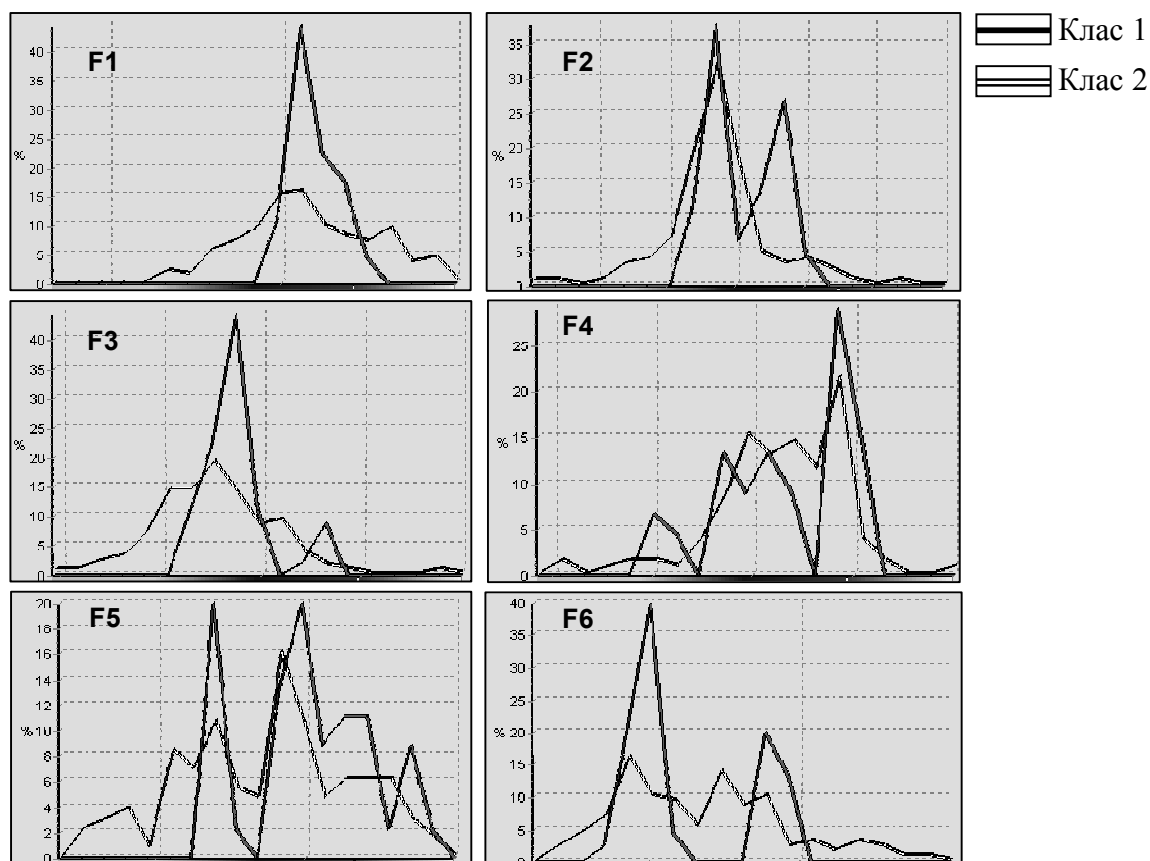


Рисунок 4.3 – Гістограми, побудовані за значеннями вихідних ознак для еталонів першого й другого класу

На рисунку 4.4 показані аналогічні гістограми для деяких розрахованих трансформант. На них площа перекриття графіків значно менше, що дозволяє більш упевнено розпізнавати об'єкти першого й другого класів.

Таким чином, використання трансформант вхідних шарів-ознак дозволяє домогтися більше високої якості результатів прогнозу покладів метану.

Окремо розраховувалися ознаки-характеристики лінеаментної мережі території ділянки. Для цього в інтерактивному режимі експертом виділялися лінеаменти гравітаційного поля (масштабів 1:25 000 і 1:10 000) і рельєфу (модуль «Редагування векторних об'єктів»).

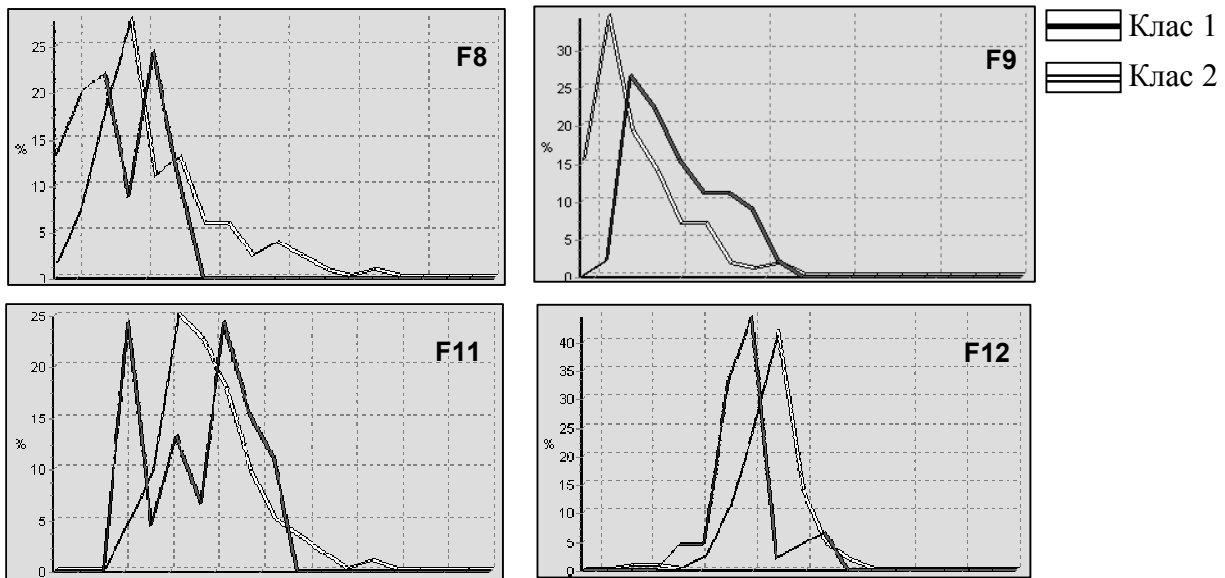


Рисунок 4.4 – Гістограми, побудовані за значеннями деяких трансформант для еталонів першого й другого класу

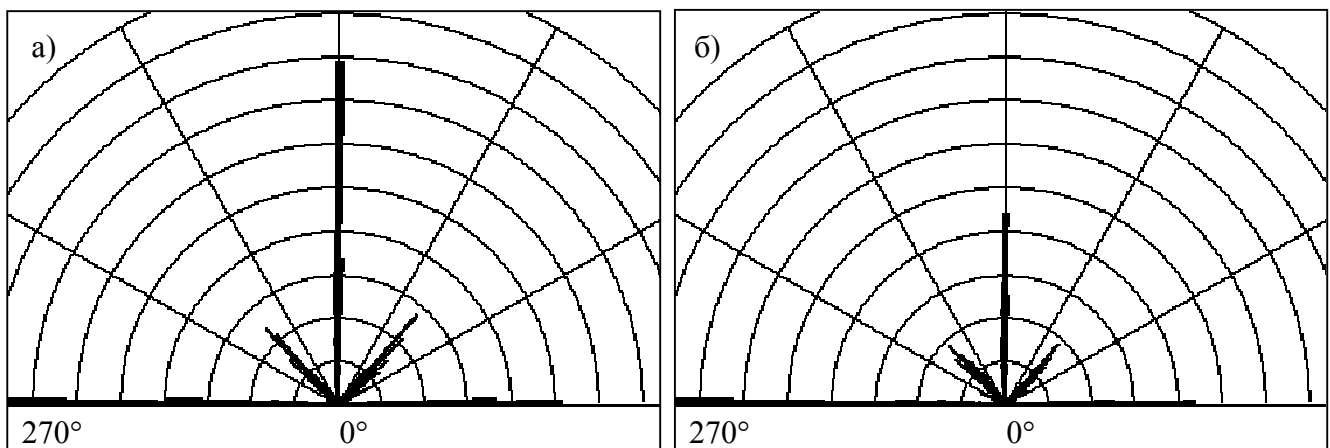


Рисунок 4.5 – Троянди-діаграми азимутів лінеаментів гравітаційного поля (а) і рельєфу (б) (по радіальних осях відкладена кількість лінеаментів відповідного азимута)

Слід зазначити, що лінеаменти рельєфу й гравітаційного поля тісно зв'язані між собою, частково збігаючись і створюючи єдину мережу з 4-ма переважними

напрямами (рис. 4.5). При цьому лінеamenti рельєфу відбивають, у першу чергу, неоднорідності, виявлені в приповерхніх шарах, тоді як у гравітаційному полі відображаються й більше глибинні об'єкти. Об'єднання лінементів обох типів (модуль «Аналіз лінементів») дозволяє одержати максимально повну картину поля тріщинуватості досліджуваної території. Результати наведені на рисунку 4.6.

Після побудови мереж лінементів обчислювалися різні їхні характеристики в ковзному вікні розмірів 140x140, 300x300 і 400x400 м, у тому числі, сумарна довжина лінементів на одиницю площі (щільність), що переважає азимут, відношення сумарної довжини й кількості лінементів, і ряд інших (модуль «Аналіз лінементів»). Крім того, ці характеристики обчислювалися для об'єданого набору лінементів гравітаційного поля й рельєфу (рис. 4.7-4.10).

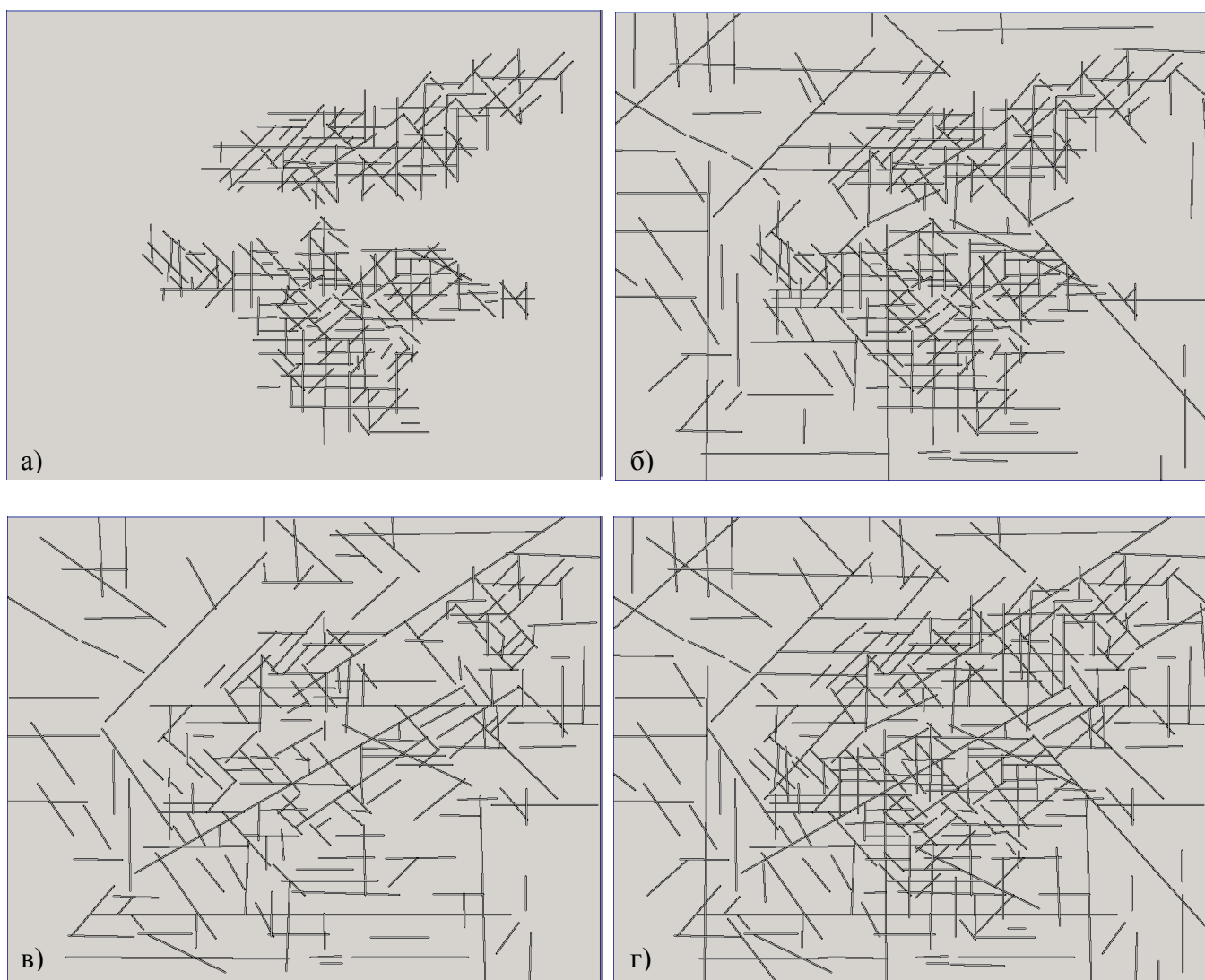
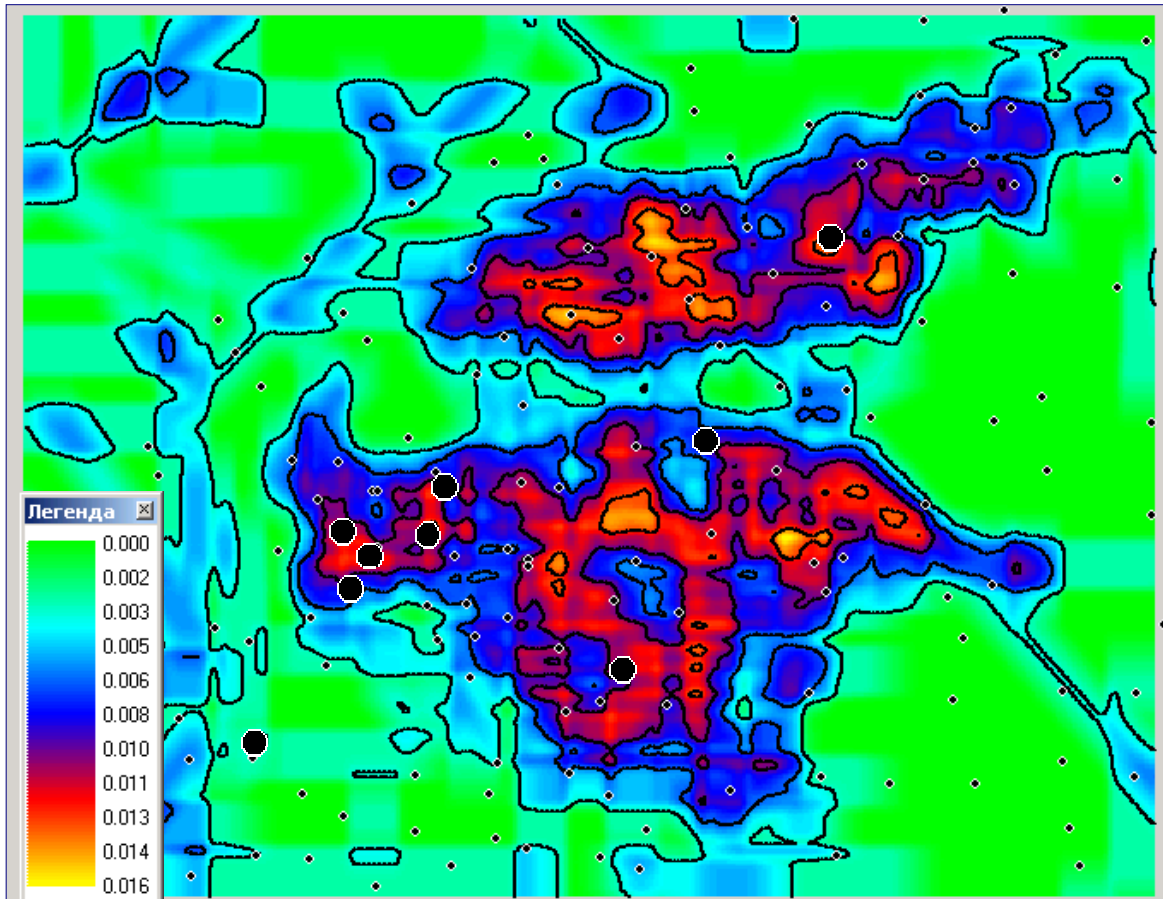


Рисунок 4.6 – Лінеamenti, виділені по: а) гравітаційним зйомкам масштабу 1:10 000; б) гравітаційним зйомкам масштабу 1:10 000 і 25 000; в) цифрової моделі рельєфу; г) гравітаційним зйомкам і цифровій моделі рельєфу

На наступному етапі аналізувалася еталонна вибірка, представлена «перспективними» об'єктами. Застосування методу 3 D-Триангуляції (модуль «Багатомірне шкалювання»), що дозволяє відобразити багатомірну інформацію в тривимірному просторі [32] показало, що об'єкти вибірки розташовуються в багатомірному просторі ознак некомпактно, розпадаючись на кілька ізольованих груп (рис. 4.11). Це викликано тим, що свердловини розташовані в різних геологічних умовах, а зафіксовані в них скупчення метану пов'язані до різних структурних утворень. Тому використання усть всіх дев'яти газоносних свердловин як об'єктів єдиної еталонної вибірки могло привести до геологічно беззмістовних результатів.

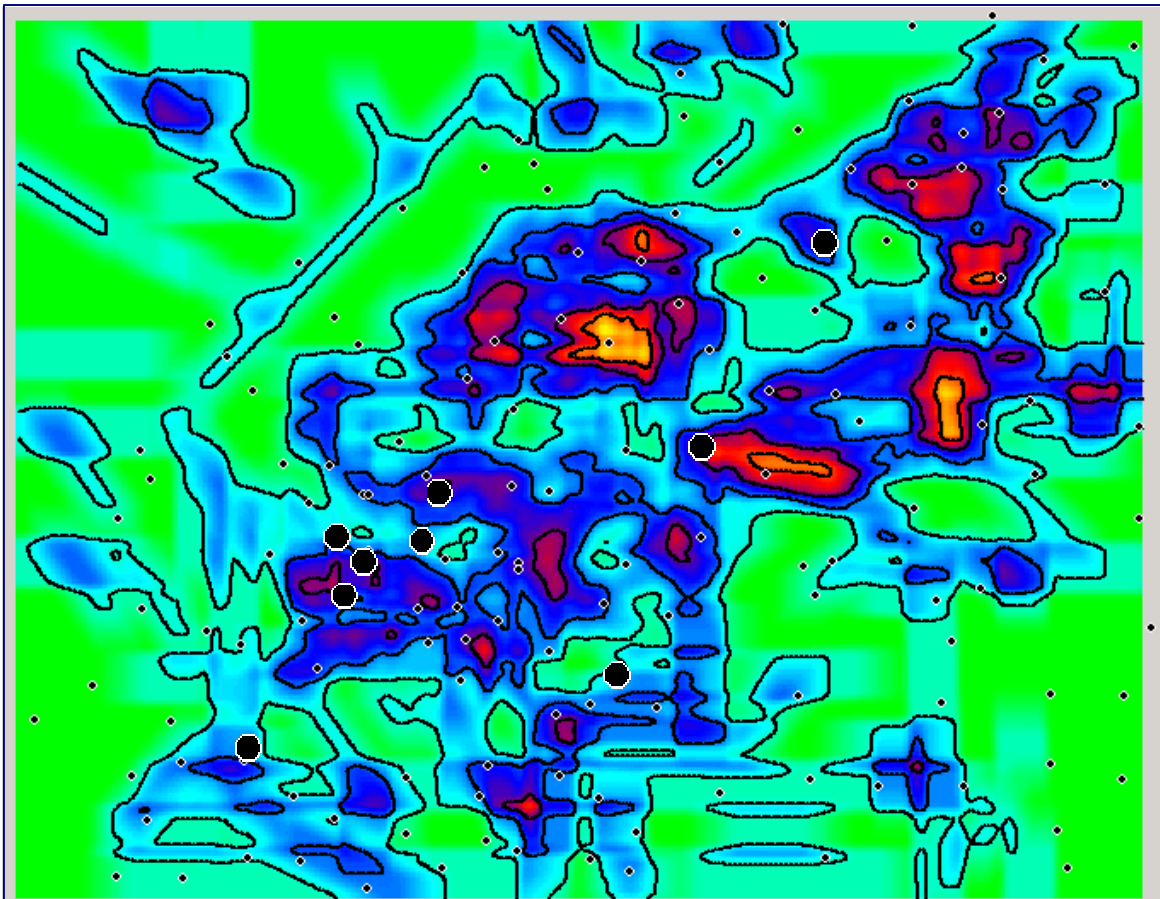
Було ухвалене рішення про розбивку еталонного класу на кілька підкласів. Із цією метою була виконана кластеризація об'єктів класу в раніше сформованому просторі ознак. Кластеризація виконувалася різними методами – k-середніх, ІЗОДАТА, нейронною мережею Кохонена (відповідні модулі блоку Кластеризації) (рис. 4.12). Всі обчислення проводилися у двох режимах - у першому кластеризувалися тільки свердловини із зафіксованою газоносністю; у другому - всі 149 свердловин. Спільний аналіз результатів показав, що оптимальним є поділ 9-ти «перспективних» об'єктів на три підкласи - А, що складається з 4 об'єктів, В (3 об'єкти) і С (2 об'єкти). Об'єкти, що представляють свердловини, у яких не був виявлений аномальний зміст метану, увійшли в клас D («безперспективний») (рис. 4.13).

Далі, використовуючи спеціальні методи оцінки діагностуючої інформативності (модуль «Діагностуючий набір»), були побудовані 3 діагностуючі набори ознак для класів А, В і С. Сукупність ознак, що входять у набір, забезпечують найкращу роздільність об'єктів даного класу й «безперспективного» класу D.



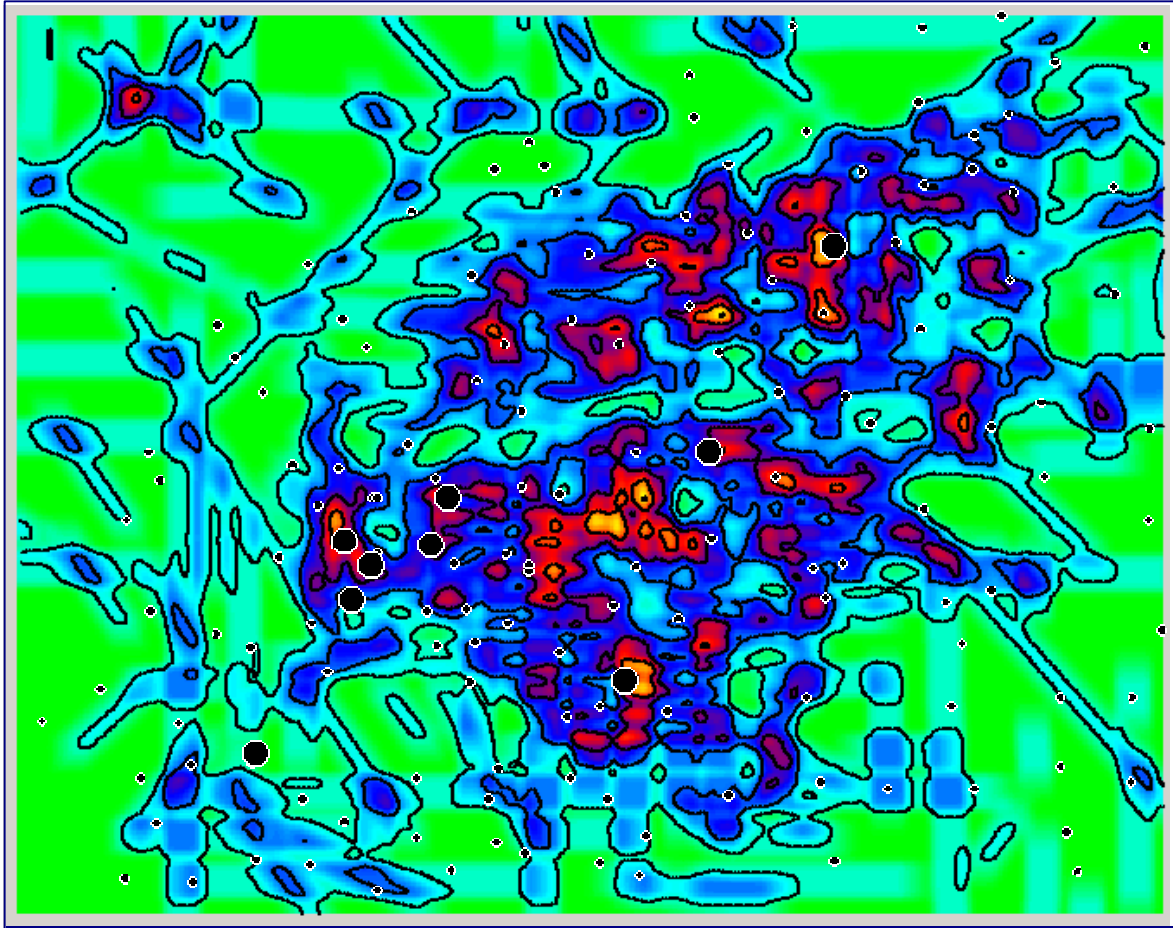
- Свердловини з газом
- Свердловини без газу

Рисунок 4.7 – Карта концентрації лінементів гравітаційного поля (сумарна довжина лінементів усередині вікна розміру 400x400м)



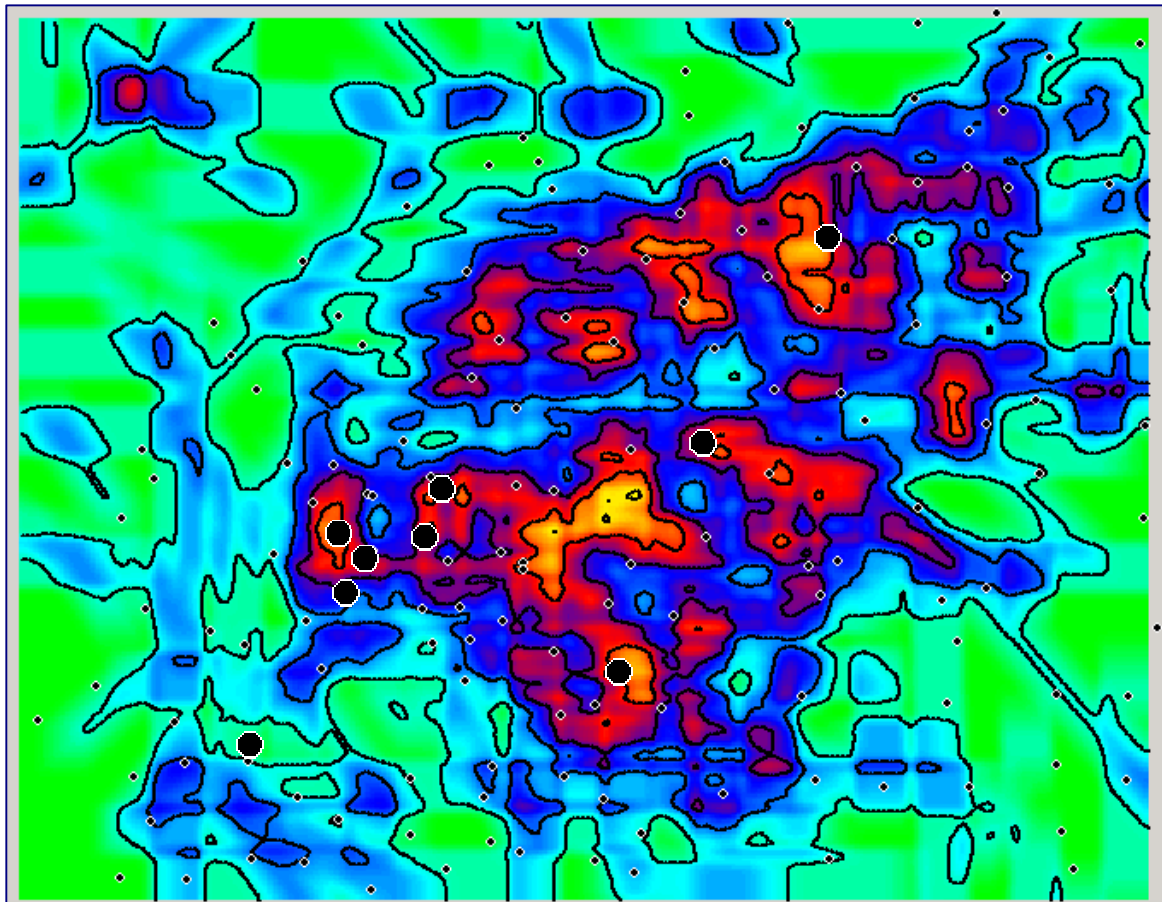
- Свердловини з газом
- Свердловини без газу

Рисунок 4.8 – Карта концентрації лінементів цифрової моделі рельєфу (сумарна довжина лінементів усередині вікна розміру 400x400м)



● Свердловини з газом • Свердловини без газу

Рисунок 4.9 – Карта концентрації лінементів гравітаційного поля й ЦМР (сумарна довжина лінементів усередині вікна розміру 300x300м)



● Свердловини з газом • Свердловини без газу

Рисунок 4.10 – Карта сумарної концентрації лінементів гравітаційного поля й ЦМР (сумарна довжина лінементів усередині вікна розміру 400x400м)

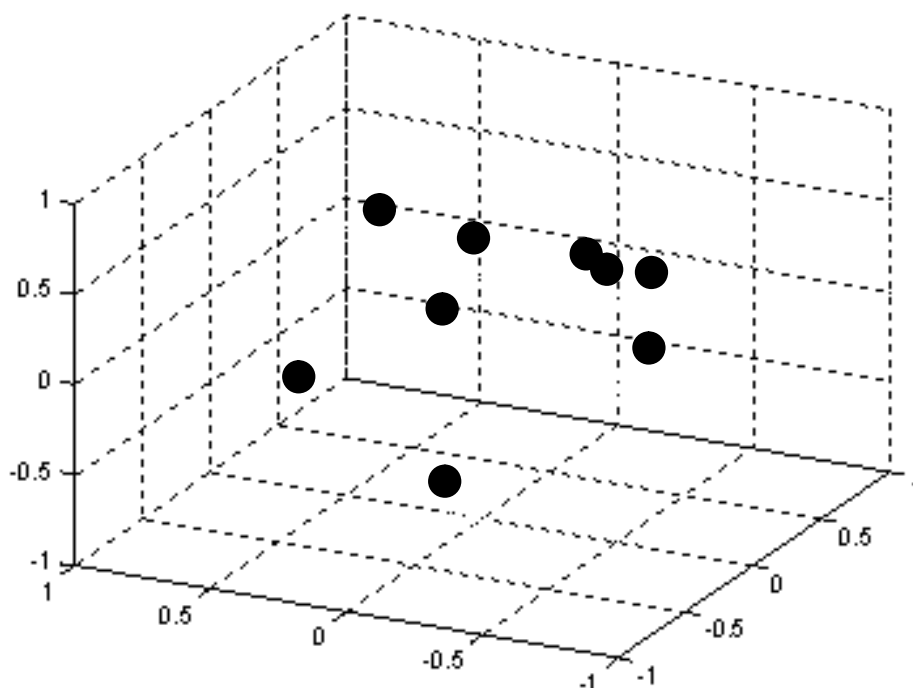


Рисунок 4.11 – Відображення еталонних об'єктів (устя газоносних свердловин) з багатомірного простору в тривимірне

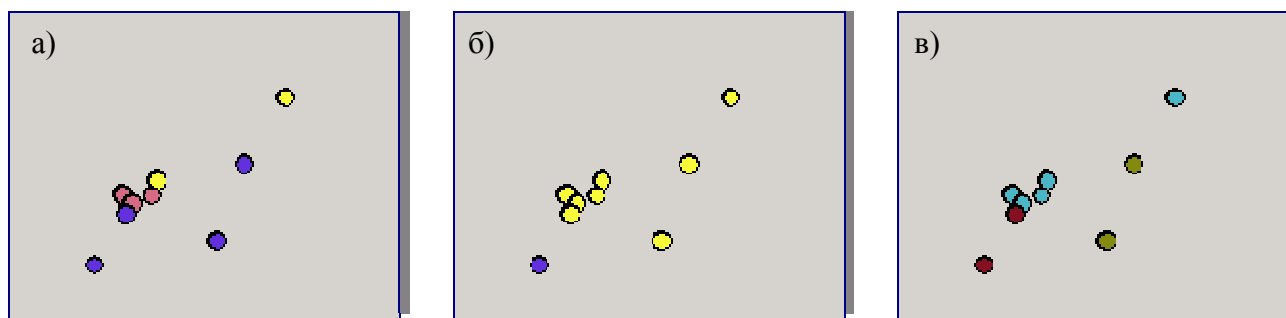


Рисунок 4.12 – Приклади кластеризацій усть газоносних свердловин: а) метод k-середніх, 3 класи; б) метод ІЗОДАТА, 2 класи; в) метод нейронної класифікації мережею Кохонена, 3 класи

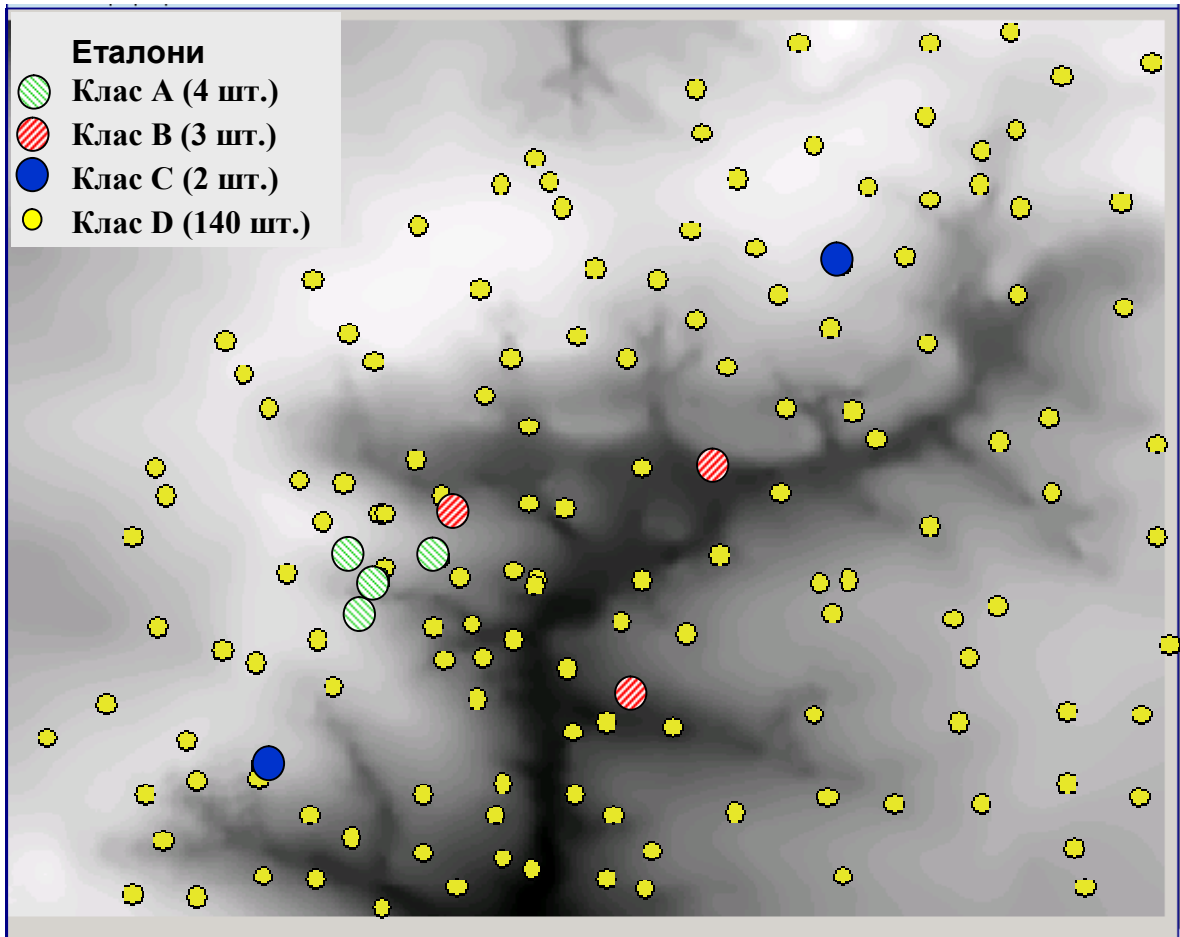


Рисунок 4.13 – Схема розташування еталонних об'єктів (накладена на цифрову модель рельєфу)

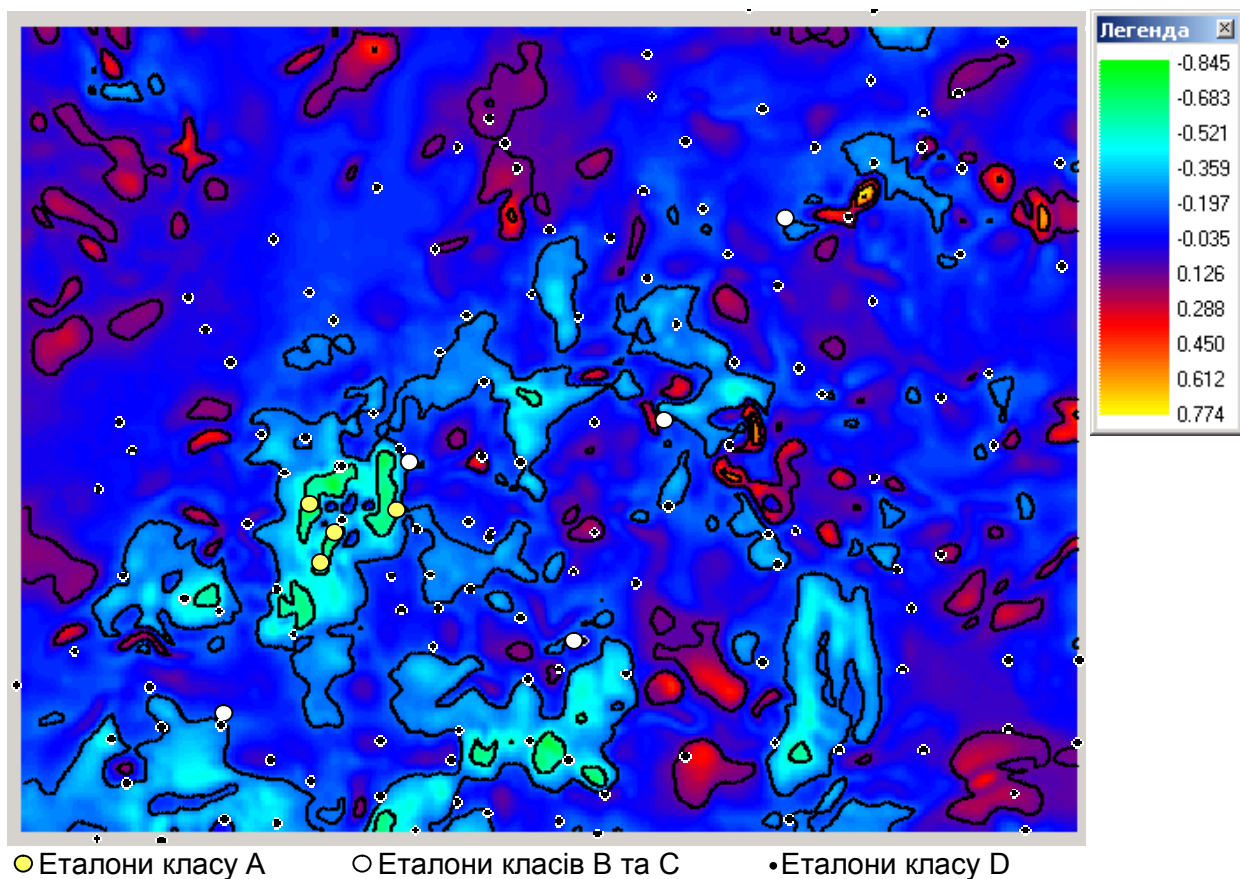
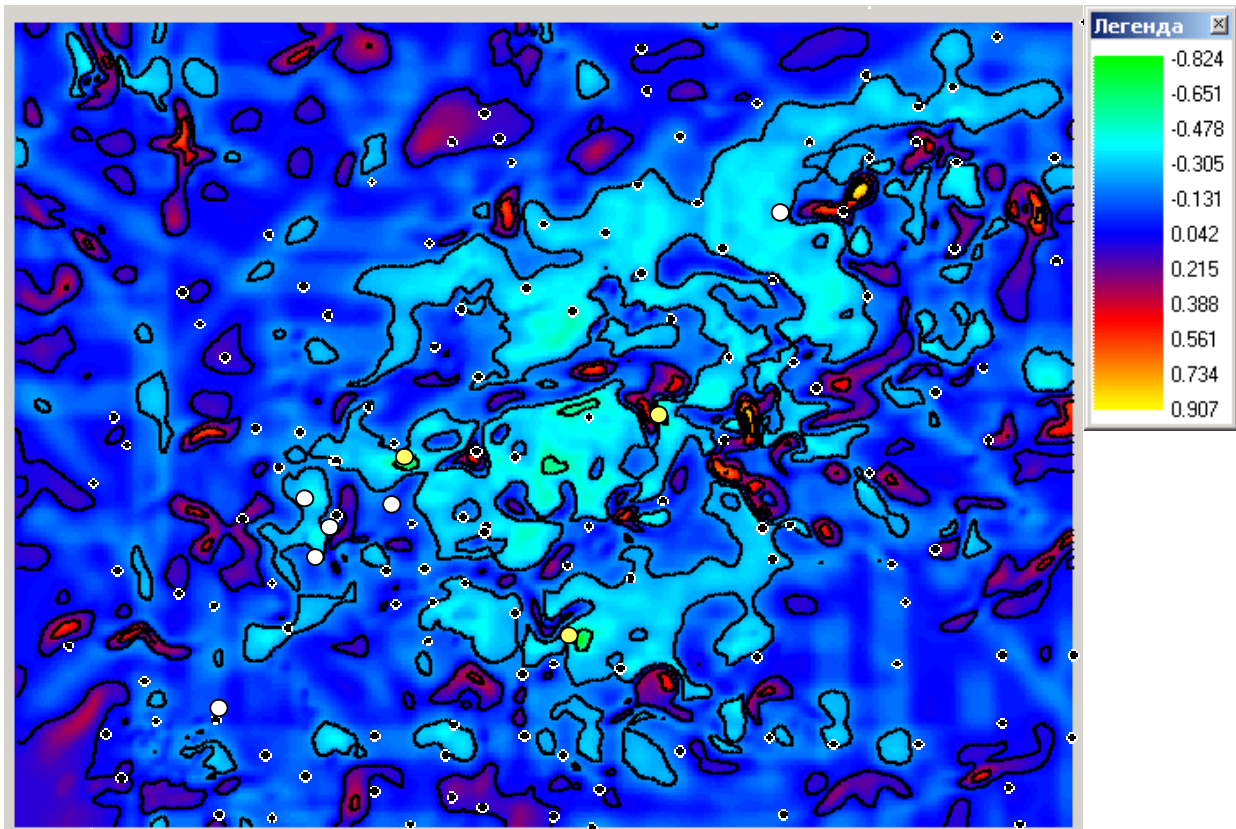
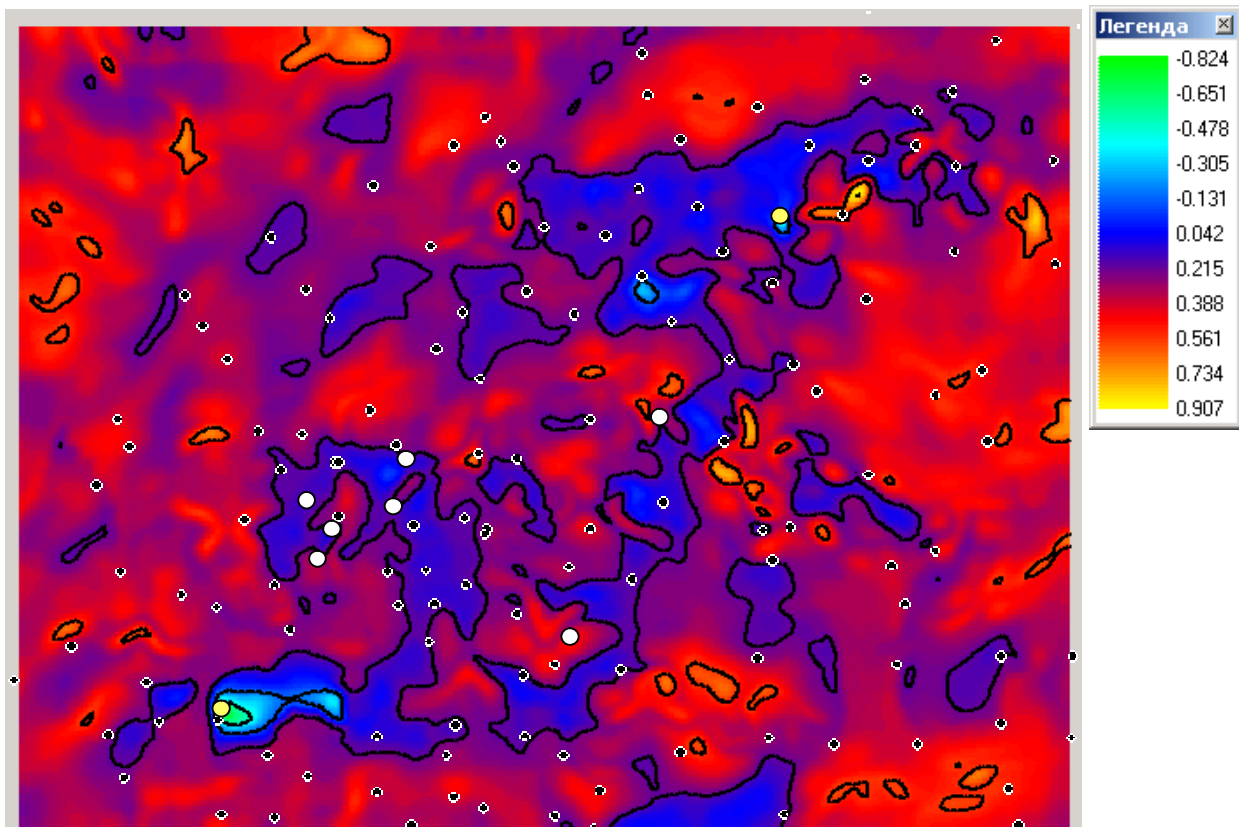


Рисунок 4.14 – Карта міри подібності території з еталонами класу А



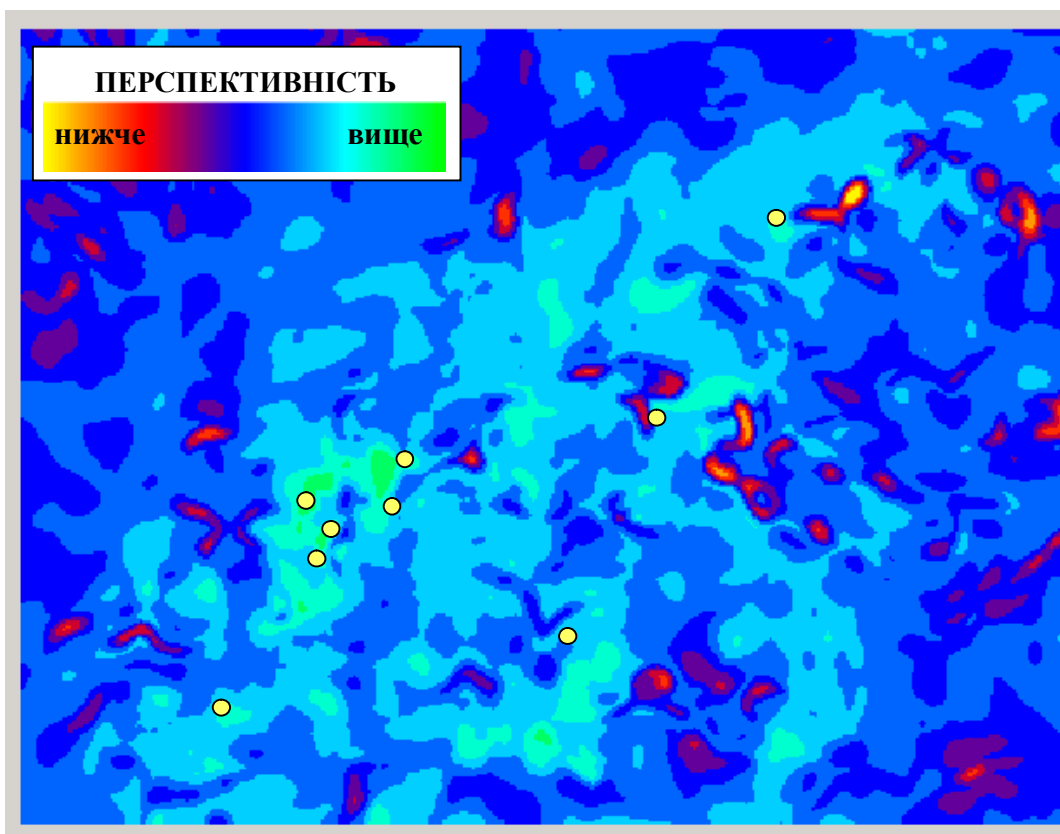
● Еталони класу В ○ Еталони класів А та С • Еталони класу D

Рисунок 4.15 – Карта міри подібності території з еталонами класу В



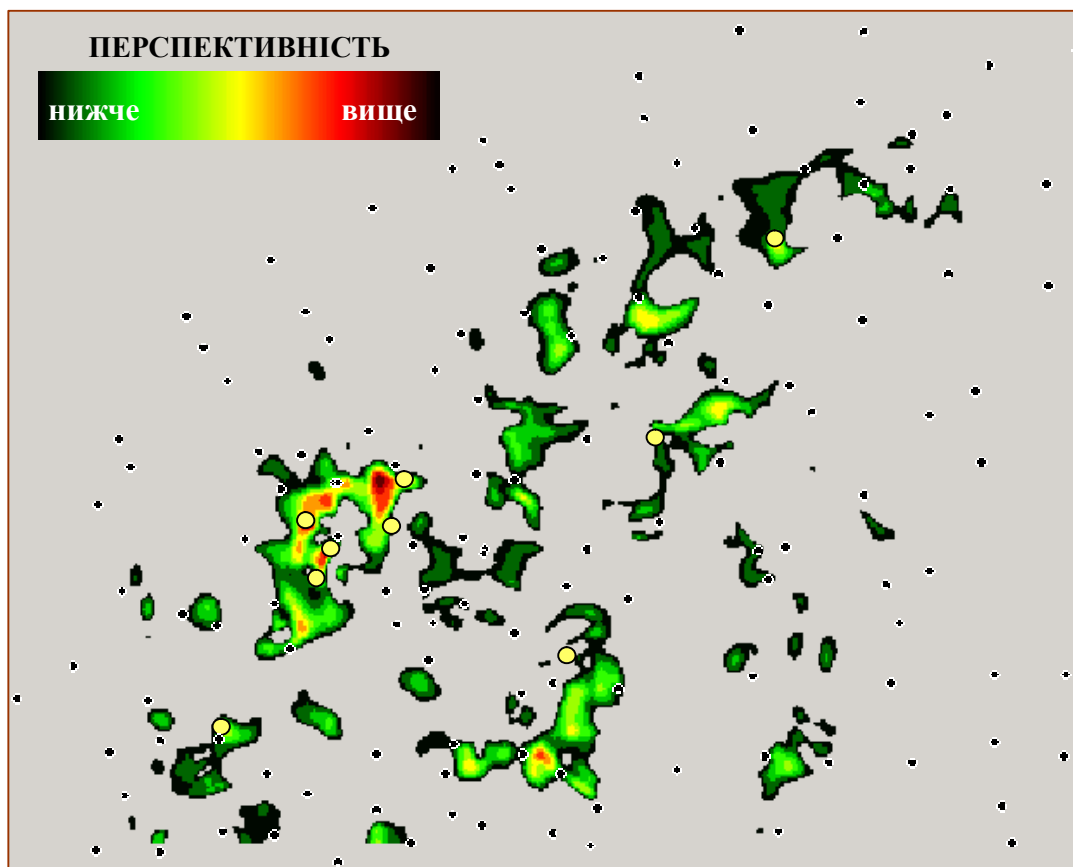
● Еталони класу С ○ Еталони класів А та В • Еталони класу D

Рисунок 4.16 – Карта міри подібності території з еталонами класу С



- Еталони класу А, В, С

Рисунок 4.17 – Карта інтегральної перспективності території на виявлення аномальних скупчень метану



- Еталони класу А, В, С
- Еталони класу D

Рисунок 4.18 – Ділянки з найвищою перспективністю виявлення аномальних скупчень метану

У діагностуючий набір для класу А увійшли наступні шари-ознаки:

1. Коефіцієнт відносної потужності піщанику $m_4^0 S_4^1$ (F5)
2. Ранговий коефіцієнт кореляції Кендалла між гравітаційним полем і потужністю піщанику $m_4^0 S_4^1$
3. Сума абсолютних значень $|A_{ij}|$ з верхнього трикутника матриці, сформованого коваріаціями пар ознак F1..F7, $j < i$;
4. Характеристика, що відбиває параметр гистограми значень гравітаційного поля [1]
5. Напрямок горизонтального градієнта коефіцієнта пористості піщанику $m_4^0 S_4^1$ у ковзному вікні 160x160м

Імовірнісна помилка класифікації набору склала 5,56%.

У діагностуючий набір для класу В увійшли:

1. Значення висот рельєфу денної поверхні (F7)
2. Інтегральна характеристика рельєфу;
3. Ранговий коефіцієнт кореляції Кендалла між гравітаційним полем і потужністю піщанику $m_4^0 S_4^1$
4. Характеристика, що відбиває параметр гистограми значень гравітаційного поля
5. Сумарна довжина лінеаментів гравітаційного поля й рельєфу в ковзному вікні розміром 300x300м

Імовірнісна помилка класифікації набору склала 9,35%.

У діагностуючий набір для класу С увійшли:

1. Потужність піщанику $m_4^0 S_4^1$ (F3)
2. Текстура характеристика гравітаційного поля, що відбиває інверсний момент різниці [27] у ковзному вікні 460x460м
3. Характеристика, що відбиває параметр гистограми значень гравітаційного поля

4. Напрямок горизонтального градієнта[7x7] амплітуди локальних структур вугільного шару М₃ у ковзному вікні 140x140м
5. Напрямок горизонтального градієнта коефіцієнта пористості піщанику m 40S41 у ковзному вікні 160x160м
6. Сумарна довжина лінеаментів гравітаційного поля й рельєфу в ковзному вікні розміром 400x400м
7. Сумарна довжина лінеаментів гравітаційного поля в ковзному вікні розміром 400x400м

Імовірна помилка класифікації набору склала 6,72%.

У всіх випадках як вирішальне правило була обрана функція міри близькості, що обчислюється в евклідовій метриці. Ознаки, що увійшли в діагностуючі набори, використовувалися для виконання процедур розпізнавання й ранжирування (модуль «Детерміністські методи розпізнавання й ранжирування»). У результаті були побудовані карта класів, отримані шляхом розпізнавання й карти, що відбивають міру подібності території з об'єктами класів А, В и С (рис. 4.14-4.16).

Отримані карти міри подібності території з об'єктами класів А, У и С поєднувалися (модуль «Арифметичні/тригонометричні трансформації») шляхом обчислення середньозваженого значення Т у вузлах сітки по формулі:

$$T_{ij} = 0.45 * A_{ij} + 0.33 * B_{ij} + 0.22 * C_{ij}$$

де i, j - координати комірки сітки, A_{ij} , B_{ij} , C_{ij} - відповідні значення міри подібності із класами А, В, С.

Значення вагових коефіцієнтів бралися пропорційними кількості об'єктів, що представляють клас.

Створена в результаті карта відбиває інтегральну перспективність території на виявлення аномальних скупчень метану й наведена на рисунках 4.17-4.18.

Про вірогідність побудованої карти свідчить той факт, що всі об'єкти класів А, В, С потрапили усередину зон з максимальними значеннями подібності, у той час як переважна більшість об'єктів класу D перебувають поза їхніми межами.

Таким чином, застосування технології на території Донецького вугільного басейну дозволило одержати прогнозні карти й виділити зони, перспективні на виявлення скупчень метану. Результати добре погодяться з відомими геологічними фактами й підтверджуються матеріалами буріння свердловини. Додатково проведені обчислювальні експерименти показали, що залучення космічних матеріалів збільшує якість прогнозу в порівнянні з підходом, заснований на використанні традиційних геолого-геофізичних даних.

Особливий інтерес викликають результати лінеаментного аналізу. Як видно з рисунка 6, більшість (8 з 9-ти) свердловин із зафіксованої газоносністю присвячені до зон підвищеної концентрації лінеаментів і, відповідно, тріщинуватості товщі. Це, як видно, пов'язане з тим, що такі розущільнені зони крім того, що мають підвищені колекторні властивості, служать каналами міграції газів. Крім того, розрядка сучасних тектонічних напруг, що відбуває по древній лінеаментній мережі, веде зростанню тріщинуватості й вивільненню зв'язаного газу.

Через цього підвищена концентрація лінеаментів, у першу чергу, гравітаційного поля, може вважатися пошуковою ознакою при прогнозуванні скупчень метану вугільних басейнів.

Окремо слід зазначити, що чисельні експерименти показали високу інформативність даних, отриманих у результаті порівняно недорогих геофізичних досліджень і радарних супутникових зйомок. Так, з 17 ознак, що ввійшли в діагностуючі набори для класів А, В, С, похідними гравітаційного поля або рельєфу є 11. Обчислювальні експерименти показали, що без використання цих даних помилка класифікації зростає в кілька разів.

Можна із упевненістю говорити про важливість геофізичних і супутникових зйомок для виявлення скупчень метану, особливо з урахуванням їхньої невисокої вартості, а також про придатність представленої технології для рішення подібних задач.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання робіт на поточному етапі створено комп'ютерну технологію інтегрованого аналізу різномірних та різномірних даних – наземних, свердловинних та космічних. Також створено елементи геоінформаційної системи, що реалізують технологію.

Створена та детально описана узагальнена технологічна схема проходження і обробки інформації у межах технології, що дозволяє перетворювати вхідні дані у кінцеву інформацію, яка дає вирішення конкретної геологічної або геоекологічної задачі. Розроблені та апробовані технологічні схеми вирішення конкретних задач природокористування та оцінки ризику надзвичайних ситуацій, зокрема, при прогнозуванні аномальних скупчень газу метану в межах шахтних полів Донбасу.

Наданий перелік основних складових частин технології, а також взаємозв'язки між ними. Приведено структурні та функціональні схеми системи та її елементів.

Створені всі основні елементи геоінформаційної системи інтегрованого аналізу різномірних та різномірних геоданих, що реалізує розроблену технологію. Наданий детальний опис системи, що містить методичні рекомендації і може використовуватися у якості супровідної документації при провадженні розробленої геоінформаційної системи.

Система і технологія були випробувані при вирішенні низки практичних завдань, пов'язаних з прогнозом геологічних об'єктів та ситуацій на ділянках, що знаходяться у різних геологічних умовах. Технологія продемонструвала свою ефективність та доказала доцільність їх використання при вирішенні геологічних та геоекологічних задач з використання різномірних та різномірних геоданих.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бусыгин Б.С., Мирошниченко Л.В. Распознавание образов при геолого-геофизическом прогнозировании. Днепропетровск: Изд-во ДГУ. –1991. –168 с.
2. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Бойко В.А. ГИС-технология поисков золота в Западном Узбекистане // Геоинформатика. –2006. –№1.-С.44-49.
3. Pivnyak G., Busygin B., Nikulin S. Geoinformation System RAPID as the Means of Solving the Problems of Environment and Nature Management // 12th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production SWEMP 2010, May 24-26, 2010, Prague, Czech Republic
4. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Залесский В.В. Компьютерная технология поисков золота на юго-западном склоне Украинского щита // Наука та інновації. – 2006. –№3. – С.80-91.
5. Финкельштейн М.Я. ГИС-INTEGRO как инструмент геологических исследований // Геоинформатика. –2002, №2. – С. 14-21.
6. Прэйт У. Цифровая обработка изображений. М.,«Мир», 1982, т.1, 310 с. , т.2, 790 с.
7. Canny J. A computational approach to edge detection// IEEE Trans. PAMI. 1986. V. 8. P. 34-43.
8. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - Москва: Техносфера, 2005. - 1072 с.
9. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. Boston: Prentice Hall, 2002. – 793 p.
10. Haralick R.M. Textural features for image classification // IEEE Transaction on Systems, man and Cybernetics SMC-3. – 1973. – P. 610-621.
11. Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика: исследование зависимостей - М.: Финансы и статистика, 1985. – 487с.
12. Потапов А. А. Фракталы в дистанционном зондировании. // Успехи современной радиоэлектроники – 2000. – №6. – С. 3 – 65.

13. Пузаченко Ю. Г., Алещенко Г. М., Молчанов Г. С. Многомерный анализ аэрофотоснимков при изучении структуры ландшафта // Известия АН. Серия географическая. 1999. №2. С. 80-90.

14. Пузаченко Ю. Г., Хорошев А. В., Алещенко Г. М. Анализ организации ландшафта на основе космического снимка // Исследование Земли из космоса. 2003. №3. С. 63-71.

15. Кукушкин Д.А., Ян Г.Х. Некоторые вопросы методики анализа линеаментов (по данным дешифрирования космических снимков) // Исследование Земли из космоса. – 1983. – №1. – С.51-56.

16. MacQueen J.. Some methods for classification and analysis of multivariate observations // In Proc. 5th Berkeley Symp. on Math. Statistics and Probability, 1967. – PP. 281-297

17. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. - М.: Мир, 1992. - 240 с.

18. Бусыгин Б.С., Зацепин Е.П. Статистический и детерминистский подход в задаче оценки перспективности территорий // Науковий вісник Національного гірничого університету – 2006. – №3. – С. 99-105.

19. Duda R.O., Hart P.E., Stork D.G. Pattern classification, 2ed. – Wiley, 2000. – 612 с.

20. Bow S.-T. Pattern recognition and image preprocessing. – New York, Marcel Dekker, 2002.

21. Губерман Ш.А. Неформальный анализ данных в геологии и геофизике. – М.: Недра, 1987. – 261 с.

22. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.

23. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 507 с.

24. Кац Я.Г., Тевелев А. В., Полетаев А. И. Основы космической геологии. – М.: Недра, 1988. – 430 с.

25. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Залесский В.В. Прогнозирование золоторудной минерализации в районе Сорокинской зеленокаменной структуры // Науковий вісник НГУ. –2006. –№3. –С.68-72

26. Busygin B., Nikulin S. The integrated analysis of geological-geophysical and remote sensing data at the gold prospecting in Western Uzbekistan // 67-rd EAGE conference: Extended Abstracts. – Vol. 1. – Madrid, Spain, June, 2005

27. Харалик Р.М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур// ТИИЭР,-1979,-Т.67,-N5,-С. 98-120.

28. Duda R., Hart P. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures // Communications of the ACM. – 1972. – V. 15/1. – P.11-15.

29. Sewisy A.A. Graphical techniques for detecting lines with the Hough transform. JCM(79), 2002, pp. 49-64.

30. Werner M. (2001) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): Mission overview. J. Telecom (Frequenz), 55, 75-79.

31. Goncharenko V., Svistun V., Gerasimenko T., Malinovskiy A. (2007) The basis of complex prognosis of methane accumulation zones in Donbass using geological and geophysical data. Geologist of Ukraine, 1, 36-43

32. Borg, I., Groenen, P., 2005, Modern Multidimensional Scaling: theory and applications (2nd ed.): Springer-Verlag, 614 P.

ДОДАТОК А

ВИТЯГ

з протоколу № ____
засідання кафедри геоінформаційних систем

м. Дніпропетровськ

" ____ " грудня 2011 року

Присутні: зав. кафедри проф. Бусигін Б.С., проф. Кузьменко В.І., проф. Саричева Л.В., проф. Коротенко Г.М., доц. Трусов В.О., доц. Дорошкевич В.К., доц. Нікулін С.Л., доц. Гаркуша І.М., ас. Бабенко Г.М., ас. Левченко М.А., ас. Грищенко О.В., ас. Качанов О.В., ас. Зацепін Є.П., ас. Сергєєва К.Л.

Слухали: повідомлення доктора технічних наук, професора Бусигіна Б.С., наукового керівника теми ГП-418 «Розробка геоінформаційної технології інтегрованого аналізу різномірних та різномірних даних при геологічних та геоекологічних дослідженнях», який доповів про основні наукові та практичні результати виконаних досліджень за 3 роки.

Питання поставили: доц. Дорошкевич В.К., доц. Коротенко Г.М., доц. Гаркуша І.М., ас. Зацепін Є.П., ас. Качанов О.В.

Ухвалили:

1. Вважати, що робота виконана в повному обсязі згідно з програмою, технічним завданням і календарним планом на 2011 рік.

2. Робота актуальна і має фундаментальний характер.

3. Науково-технічний рівень НДР відповідає сучасному рівню вітчизняних і світових розробок.

4. Наукове значення роботи: створено геоінформаційну технологію, що базується на методах інтегрованого аналізу геоданих та дозволяє вирішувати широке коло прогнозних задач надкористування на єдиних технологічних та методичних засадах. Технологія є цілісною та включає всі необхідні етапи від вводу даних до прийняття остаточних рішень спеціалістом-інтерпретатором. Технологія може використовуватися, зокрема, для прогнозу рудних та нерудних об'єктів, передбачення землетрусів та інших небезпечних ситуацій, і т.ін

5. Практичне значення роботи: розроблені основні елементи геоінформаційної системи інтегрованого аналізу різномірних та різномірних даних, що базується на методах розпізнавання образів, обробки зображень, лінеаментного, кластерного та факторного аналізу. З використанням геоінформаційної системи вирішено декілька практичних задач, зокрема, задачу прогнозування аномальних скупчень метану на території шахтного поля шахти ім. Засядько з використанням наземних геофізичних, супутникових та свердловинних спостережень.

6. Заключний звіт по темі ГП-418 схвалити і рекомендувати до затвердження.

Заст. завідувача кафедри ГІС,
д.т.н., професор

Г.М. Коротенко

Секретар, асистент

О.В.Грищенко

ДОДАТОК Б
ВИТЯГ З ПРОТОКОЛУ №

засідання секції «Інформаційні та телекомунікаційні системи»
науково-технічної ради Державного ВНЗ «Національний гірничий університет»

м. Дніпропетровськ

12 грудня 2011 р.

ПРИСУТНІ: голова секції – д.т.н., професор Бусигін Б.С., заступник голови секції – к.т.н., професор Алексєєв М.О., д.т.н., професор Слесарєв В.В., д.т.н., професор Ткачов В.В., асистент Зацепін Є.П.

СЛУХАЛИ: доповідь наукового керівника теми ГП-418 «Розробка геоінформаційної технології інтегрованого аналізу різнорідних та різнорівневих даних при геологічних та геоекологічних дослідженнях» (етап 3 – «Розробка та практична апробація технології інтегрованого аналізу геоданих») завідувача кафедри геоінформаційних систем професора Бусигіна Б.С. про виконану у 2011 році роботу по темі ГП-418 та основні положення заключного звіту НДР.

Доповідач відзначив, що роботи в цілому і, зокрема, за етап 2011 року виконані у повному обсязі згідно з технічним завданням та календарним планом. За результатами роботи опубліковано 17 наукових праць, у тому числі у 2011 році - 6.

ВИСТУПИЛИ: професор Алексєєв М.О., професор Ткачов В.В., які дали позитивну оцінку результатам виконаної роботи по темі ГП-418, відзначили, що робота виконана у повному обсязі згідно з календарним планом та технічним завданням. Виступаючі відзначили актуальність роботи та рекомендували заключний звіт з НДР ГП-418 затвердити.

ВИРІШИЛИ:

1. Робота по темі ГП-418 виконана у повному обсязі згідно з календарним планом та технічним завданням.

2. Результати роботи по темі ГП-418 є актуальними, їх науково-технічний рівень відповідає сучасному рівню науки, техніки та технологій. Ці результати мають теоретичне та практичне значення.

3. Звіт по темі ГП-418 не містить відомостей, що можуть бути віднесені до винаходу або відкриття, а також відомостей, що становлять державну таємницю.

4. Заключний звіт НДР ГП-418 ухвалити та рекомендувати до затвердження.

Голова секції,
д.т.н., професор

Б.С. Бусигін

Вчений секретар секції

Є.П. Зацепін

ДОДАТОК В
РЕЦЕНЗІЯ
на звіт по науково-дослідній темі
ГП-418 «Розробка геоінформаційної технології інтегрованого аналізу
різномірних та різномірних даних
при геологічних та геоекологічних дослідженнях»

Етап: «Розробка та практична апробація
технології інтегрованого аналізу геоданих»
за період (01.01.2011 – 31.12.2011 р.р.)

Робота присвячена питанню розробки геоінформаційної технології та відповідної систем інтегрованого аналізу наземних, свердловинних та аерокосмічних даних з метою вирішення широкого кола задач природокористування. Актуальність роботи обумовлена необхідністю створення сучасних спеціалізованих геоінформаційних технології і систем, які б дозволяли сумісне використання різномірних та різномірних даних, та мали дружній до користувача інтерфейс.

У межах третього року виконання робіт за темою ГП-418 виконано наступні види робіт:

1. Створено всі основні елементи геоінформаційної системи, що реалізує зазначену технологію інтегрованого аналізу.
2. Розроблені функціональні та структурні схеми системи та її окремих блоків і модулів. Визначено характер та засіб взаємодії окремих складових системи.
3. Розроблено узагальнену та часткові схеми проходження інформації у межах технології при вирішенні прогнозних геологічних та геоекологічних задач.
4. Розроблені елементи методичні рекомендації та супровідної документації для використання технології у виробничих і науково-дослідних установах та організаціях.

5. Розроблені технологія та система апробовані на реальних матеріалах при вирішенні важливої практичної задачі прогнозування аномальних скупчень газу метану, що міститься в шарах вугілля та піщанику на території Центрального Донбасу

Науково-технічний рівень НДР відповідає сучасному рівню вітчизняних і світових розробок. Робота є актуальною, використовує комплексний підхід та має фундаментальний характер.

Зав. каф. гідрогеології та інженерної геології
Державного ВНЗ «НГУ»,
д-р геол. наук, професор

Садовенко І.О.

Додаток Г**Витяг**
з протоколу №__
засідання науково-технічної ради
ДГЕ Дніпрогеофізика

" __ " грудня 2011 р.

м. Дніпропетровськ

Присутні: __ членів НТР.**Порядок денний:** розгляд результатів держбюджетної фундаментальної НДР ГП-418 " розробка геоінформаційної технології інтегрованого аналізу різнорідних та різнорівневих даних при геологічних та геоекологічних дослідженнях", виконаної у Національному гірничому університеті у 2009-2011 роках.**Виступив:** керівник теми проф. Бусигін Б.С., який доповів зміст виконаної роботи.

У обговоренні прийняли участь __ членів НТР.

Ухвалили: результати роботи представляють інтерес для вирішення задач пошуків рідних та нерудних родовищ корисних копалин, підвищення надійності та оперативності прийняття рішень в задачах надрокористування, управління геологорозвідувальним процесом на різних його стадіях, геологічних та екологічних досліджень, прогнозування небезпечних природних та техногенних явищ і будуть використані для вирішення відповідних задач на території Дніпровсько-Донецької западини, Українського щита та Донецького вугільного басейну.

Начальник

В.К. Свистун