

УДК 004.94
№ держреєстрації 0111U002815
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
член-корр. НАН України, проф.

О.С.Бешта

“ _____ ” _____ 2012р.

**ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

**ПРОГНОЗУВАННЯ І ОЦІНКА ВУГЛЕВОДНЕВИХ СТРУКТУР
ПРОМИСЛОВОГО ЗНАЧЕННЯ В МЕЖАХ ДДЗ З ВИКОРИСТАННЯМ
НОВІТНІХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**(заключний)
ГП-445**

Начальник НДЧ,
канд. техн. наук, доцент

Р.Е. Дичковський

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

Б.С. Бусигін

2012

Рукопис закінчено 13 грудня 2012 року
Результати роботи розглянуто науково-технічною радою,
протокол № 3 від 14 грудня 2012 року

СПИСОК АВТОРІВ

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

Б.С. Бусигін
(вступ, розділи 1-4,
висновки)

Старший науковий співробітник,
відповідальний виконавець,
д-р. геол. наук

М.М. Довбнич
(розділи 3, 4)

Старший науковий співробітник

Т.А. Кузнєцова
(розділи 2, 4)

Старший науковий співробітник

А.М. Бобришов
(розділи 1, 2)

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

С.Л. Нікулін
(розділи 1, 3, 4)

Нормоконтроль

Л.С. Шломіна

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 115 с., 40 рис., 4 додатки, 18 джерел.

Об'єкт дослідження – вуглеводневі структури промислового значення в межах Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ).

Мета роботи – вдосконалення та адаптація до умов ДДЗ геоінформаційної технології інтегрованого аналізу різнорідних та різнорівневих геоданих з метою прогнозування нафтогазових покладів та створення прогнозних карт масштабу 1:50000, що відбивають перспективність окремих ділянок території південного схилу ДДЗ з точки зору вірогідності виявлення вуглеводневих структур промислового значення, розташованих в кристалічному фундаменті.

При виконанні роботи використані методи геоінформаційного моделювання, обробки зображень, розпізнавання образів, обробки космічних знімків, обчислювальної геометрії, лінеаментного, кластерного аналізу, багатовимірного шкалювання та інших методів Data Mining.

У результаті виконання науково-дослідної роботи по етапу за 2012 р. отримані наступні результати:

- розроблено та вдосконалено теоретичні засади інтегрованого аналізу геолого-геофізичних даних та багатоканальних аерокосмічних геозображень з метою вирішення прогнозно-пошукових задач у масштабі 1:50000 та близьких до нього;

- сформовано електронну базу даних та геоінформаційні моделі досліджуваних ділянок;

- вдосконалено та адаптовано ГІС-технологію інтегрованого аналізу різнорідних та різнорівневих геоданих РАПД для прогнозу і пошуків вуглеводневих об'єктів.

Практична значимість роботи полягає у використанні її результатів в системі Міністерства екології та природних ресурсів України, а також в відомствах і організаціях, що займаються питаннями пошуків та розвідки родовищ нафти і газу та забезпеченням енергетичної безпеки України.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ, ВУГЛЕВОДНЕВИЙ ОБ'ЄКТ, КРИСТАЛІЧНИЙ ФУНДАМЕНТ, ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКА ЗАПАДИНА, ЛІНЕАМЕНТНИЙ АНАЛІЗ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ГЕОДАНИХ.

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ДІЛЯНКУ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
1.1 Аналіз геолого-геофізичної вивченості нафтогазоносності фундаменту Північного борту ДДЗ	8
1.2 Загальна геолого-геофізична характеристика північного борту ДДЗ	10
2 ТЕОРЕТИЧНІ Й МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СТРУКТУР	15
2.1 Інтегральні прогностні моделі	15
2.1.1 Базові одиниці ІПМ	16
2.1.2 Описові й прогностні моделі інтелектуального аналізу геоданих	22
2.1.3 Методика формування ІПМ	24
2.2 Геодані і їхні трансформанти	39
2.2.1 Основні методи генерації ознак	39
2.2.2 Інтерактивне виділення лінеаментів	48
2.3 Прогноз на основі методів інтелектуального аналізу геоданих	56
3 ПРОГНОЗ ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ФУНДАМЕНТУ ПІВНІЧНОГО БОРТУ ДДЗ НА ВИЯВЛЕННЯ СКУПЧЕНЬ ВУГЛЕВОДНІВ	69
3.1 Виділення ділянок для прогнозування вуглеводневих структур промислового значення	69
3.2 Прогнозування вуглеводневих структур промислового значення в масштабі 1:50000	93
ВИСНОВКИ	109
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	110
ДОДАТОК А Витяг з протоколу засідання кафедри	

	5
геоінформаційних систем	112
ДОДАТОК Б Витяг з протоколу засідання секції НТР за науковим напрямом	113
ДОДАТОК В Рецензія	114
ДОДАТОК Г Акт впровадження	115

ВВЕДЕНИЕ

У цей час перед нафтогазовою геологією гостро встає проблема визначення шляхів її подальшого розвитку й, зокрема, з'ясування перспектив відкриття додаткових джерел вуглеводнів.

Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ), будучи найбільш вивченою нафтогазоносною провінцією України, дотепер є перспективною на виявлення нових вуглеводневих покладів. Особливий інтерес у цьому зв'язку представляють поклади нетрадиційного типу, пов'язані не з осадовим чохлам ДДЗ, а з її фундаментом.

Вихідні передумови для досліджень у цій галузі представляються такими. Земна кора ділиться на дві структурні частини: верхню, відому за назвою осадовий шар або чохол (піски, глини, вапняки й інші осадові породи), і нижню, іменовану кристалічним фундаментом осадового покриву (базальти, діорити, граніти й інші магматичні породи). Відповідно до цього сучасні поняття про походження нафти також підрозділяються на два наукових напрями або дві гіпотези: органічну, або осадову, і неорганічну, або магматичну, тобто пов'язану із кристалічними породами.

Відповідно до першої гіпотези [1], нафта виникла в результаті руйнувань (деструкції) і перетворення похованих в осадових породах залишків рослинної й тваринної органіки. Її практичні висновки зводяться до того, що родовища нафти й газу можуть утворюватися тільки в осадовому чохлах, і тому шукати їх необхідно тільки в ньому. На цьому принципі побудована практично вся пошукова діяльність сучасної промислової нафтогазової геології.

Відповідно до другої гіпотези [2, 3], високомолекулярні нафтові вуглеводні і їхні промислові скупчення можуть формуватися й іншим способом - шляхом їхнього синтезу з неорганічних сполук за схемою – від найпростіших (метан, етан, пропан і ін.), що виникають усередині Землі, до більш складних, що концентруються в земній корі. Реальність цього процесу

вже давно підтверджена численними знахідками простих і складних сполук вуглецю й водню в космічних об'єктах, у виверженнях вулканів на Землі й просто в кристалічних породах літосфери [4].

І та й інша гіпотези припускають як обов'язковий атрибут родовища наявність розламів у кристалічному фундаменті – або як каналу надходження вуглеводнів у місце їхнього скупчення, або як пастки безпосередньо (зокрема, лінійні кори вивітрювання), або як структури, що визначають формування вловлювачів у осадовій товщі, що залягає зверху. Тому, зони порушення суцільності кристалічного фундаменту можуть бути пошуковим об'єктом незалежно від припущень про природу утворення вуглеводнів.

Вивчення таких зон становить особливий інтерес. Їхнє вивчення може проводитися як традиційними геофізичними методами, особлива роль серед яких належить гравірознавці, так і із залученням космічних знімків в оптичному, ближньому інфрачервоному, радіохвильовому й тепловому діапазонах. Перші три можуть використовуватися для дешифрування зон порушення суцільності по непрямим ландшафтних індикаторах. Доцільність залучення зйомок у тепловому діапазоні пов'язана з наявністю теплових аномалій над зонами тріщинуватості, обумовленими тепловими й газо-флюїдними потоками, що переміщуються зі значних глибин у приповерхні шари земної кори уздовж тектонічно ослаблених зон.

Найбільший інтерес представляє північна частина ДДЗ, де глибина до фундаменту не перевищує 3000 м, що обумовлює максимальний вплив її тектонічних структур на денну поверхню й, відповідно, їхнє виявлення у фізичних полях і на космічних знімках.

Перспективність північного борта ДДЗ на виявлення покладів вуглеводнів у породах кристалічного фундаменту в сполученні з досить слабкою його вивченістю на предмет нафтогазоносності обумовлює актуальність виконуваних робіт.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ДІЛЯНКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз геолого-геофізичної вивченості нафтогазоносності фундаменту Північного борту ДДЗ

Перші випадки виявлення вуглеводнів у бортових частинах ДДЗ відносяться до другої половини минулого століття.

Влітку 1969 р. Дніпропетровська комплексна геологорозвідувальна експедиція проводила глибинне картування в районі Кобелякської синкліналі, що є північним замиканням Конксько-Верховцевського сінклінорію. При цьому розкривалася повна потужність кори вивітрювання кристалічного фундаменту з метою пошуків у ній можливих корисних копалин. У тектонічному відношенні розглянутий район належить до південно-західного борта Дніпровсько-Донецької западини, на якому докембрійські породи моноклінально занурюються від виходів їх на поверхню в районі р. Дніпра до глибини 1500 м у крайових розламах, що обмежують центральний грабен. Район інтенсивно порушений розламами типу скидань переважно субмеридіонального простягання.

Свердловини №№ 2ГК і 8ГК, пробурені в Кобелякській синкліналі, з забоями на глибинах відповідно 540 і 1047 м, пройшли осадовий чохол, кору вивітрювання кристалічного докембрійського фундаменту й увійшли у свіжі тріщинуваті породи фундаменту. У свердловині № 2ГК нафтопроявів в осадовому чохла й у корі вивітрювання не зафіксовано. Але свердловина зустріла рідку нафту у свіжих тріщинуватих амфіболітах докембрійського віку в інтервалі 528-532 м, тобто на 30 і нижче покрівлі фундаменту. Свердловина № 8ГК відзначила нафтопрояви в нижній частині осадового чохла, потім перетнула зону скидання з нафтопроявами поблизу поверхні фундаменту й у верхній частині кори вивітрювання; пройшла зацементовану зону вивітрювання, позбавлену нафтопроявів і, поглибившись у фундамент,

зустріла нижче на 25 м від його поверхні рідку нафту по тріщинах у кварц-сідеритових оталькованих сланцях.

На жаль, через те, що ці свердловини не були призначені для рішення питань нафтогазоносності району, вони після розкриття зони вивітрювання були зупинені, і істинна потужність нафтовміщуючої зони не була встановлена. Це, однак, не віднімає того факту, що керни, підняті з забою, були насичені нафтою.

У липні 1985 р. на території Української РСР у свердловині Хухрянська-1 отриманий промисловий приплив нафти й газу з порід кристалічного фундаменту. Свердловина розташована в межах Ахтирського нафтопромислового району й у структурно-геологічному відношенні потрапляє на ділянку зчленування північного бортового розламу Дніпровсько-Донецької западини й поперечного (Ворсклинського) тектонічного порушення, що перетинає його.

Як відзначено вище, незалежно від гіпотез генезису вуглеводнів, зони порушення суцільності фундаменту відіграють ключову роль у формуванні скупчень нафти й газу у фундаменті й надфундаментній товщі.

В умовах ДДЗ найбільш перспективними територіями для пошуків родовищ вуглеводнів у фундаменті й надфундаментній товщі є бори западини. При цьому в межах північного борту буровими роботами доведена продуктивність порід фундаменту. Саме цей регіон можна розглядати як об'єкт першочергових досліджень.

У цей час вся досліджувана територія покрита майданними гравітаційною й магнітною зйомками масштабу 1:200000, а значна її частина - зйомками більших масштабів (у тому числі, 1:50000 і крупніше). Великі обсяги корисної інформації містять супутникові зйомки території, зроблені в різних діапазонах спектра з різним просторовим розрізненням.

1.2 Загальна геолого-геофізична характеристика північного борту ДДЗ

Найважливішим і економічно доцільним напрямком геологорозвідувальних робіт, що визначають приріст запасів вуглеводневої сировини в межах нафтогазоносного регіону ДДЗ, є вивчення найслабкіше розвіданих територій, де основні перспективні поклади залягають на невеликих глибинах і доступні для швидкого їхнього освоєння.

Територіями, де існують перспективи нарощування розвіданих запасів вуглеводнів за рахунок покладів, що залягають неглибоко, є бортові частини ДДЗ, окремі частини прибортових зон і території відкритого Донбасу (Донецької складчастої структури).

Особливе місце серед них займає північний борт ДДЗ, що у цей час є об'єктом інтенсивного геолого-геофізичного вивчення й концентрації пошуково-розвідувальних робіт.

Визначальними факторами перспектив території північного борта ДДЗ є такі:

- невелика глибина залягання основних продуктивних горизонтів;
- сприятливі гірничо-геологічні умови для буріння пошукових і експлуатаційних свердловин;
- наявність диференціації геологічного розрізу по фізичних властивостях порід, що є сприятливим для застосування комплексу геофізичних методів при проведенні геологорозвідувальних робіт.

Результати геолого-геофізичних досліджень, нові підходи й концепції розвитку й формування, розроблені в останнє десятиліття вченими й виробничими організаціями, дозволили почати освоєння принципово нового нафтогазоносного регіону, а це територія шириною 100 км і довжиною 600 км у межах північного борта ДДЗ, де в цей час відкрито більше 65 родовищ, з яких в 21 родовищі отримані припливи нафти й газу із кристалічного фундаменту.

Вищевказане визначає інтерес здійснення геолого-геофізичних досліджень на території північного борту ДДЗ.

Територія північного борту ДДЗ у південній частині обмежена північним крайовим регіональним порушенням, а її північна частина поступово переходить до південного схилу Воронежського кристалічного масиву.

Глибина поверхні фундаменту, що залягає моноклінально, на території північного борту ДДЗ має тенденцію збільшення з півночі на південь і в районі крайового регіонального порушення досягає 2, 5-3,0 км.

У межах північного борту ДДЗ із заходу на схід виділяються три мегаблоки: Подольсько-Брянський, Дніпровсько-Курський (по іншому районуванню Белгородсько-Сумський) і Приазовсько-Белгородсько-Росошенський, розділених між собою субмеридіональними Криворожсько-Крупецьким і Орехово-Харківським глибинними розламами або шовними зонами.

У Дніпровсько-Курській (Белгородсько-Сумському) мегаблоці виділяється два блоки - Сумський і Харківський, які розділені Царичансько-Писаревською мегаблоковою разламною зоною.

У Приазовсько-Белгородсько-Росошенському мегаблоці виділені Вовчанський, Сватовський і Рассошенський блоки, розділені Михайловсько-Білгородською й Волновахсько-Старобельською міжблоковими разламними зонами.

У даній роботі територія досліджень охоплює кілька блоків, розміщених у різних мегаблоках, і включає східну частину Семського блоку, Харківський, Вовчанський і Сватовський блоки.

Південною її границею служить крайове порушення, а північної - державний кордон з Російською Федерацією.

Границями всіх блоків є глибинні розлами, до числа яких належить й північне крайове порушення, зона якого відокремлює північний борт від грабену. Крім відзначених, за даними сейсмозвідки, гравіметрії й інших

дистанційних методів виділяється мережа тектонічних порушень низьких рангів, які ускладнюють будову вищезгаданих блоків, утворюючи більш малі за розмірами блокові структури.

Виходячи із зазначеного, головним аспектом вивчення тектонічної будови північного борту ДДЗ, є диференціація його території, виходячи з особливостей розподілу по площі різних типів диз'юнктивних порушень, як підстава для концептуально нового підходу до структурно-тектонічного районування з метою визначення ролі тектонічного фактору в утворенні пасток вуглеводнів (ВВ) і порівняльної характеристики перспектив нафтогазоносності окремих ділянок.

Тому, з метою вивчення оцінки перспектив нафтогазоносності й планування геологорозвідувальних робіт на цій території, першочерговими є завдання по розробці концепції формування природних резервуарів шляхів міграції флюїдів, визначення умов для формування пасток різних типів, умов акумуляції й збереження покладів вуглеводнів, диференціації території по вивченості й перспективам.

Особливе значення ці дослідження мають при прогнозуванні скупчень вуглеводнів у породах кристалічного фундаменту.

У геологічній будові фундаменту великий нафтопошуковий інтерес представляє вивітріла частина кристалічного фундаменту, називана корою вивітрювання. На північному борті повсюдно розвинута зона дезінтеграції кори вивітрювання майданного типу потужністю від перших метрів до перших десятків метрів (у середньому не менше 7-12 м). У її верхній частині породи освітлені, іноді строкато пофарбовані, у значній мірі тріщинуваті, із численними прожилками, заповненими звичайно карбонатом і піритом. Перехід до невивітрених різновидів поступовий, строкатий і зовні непомітний. Фізичні властивості порід зони дезінтеграції істотно відрізняються від властивостей порід, незачеплених вивітрюванням.

За результатами буріння в ДДЗ поклади вуглеводнів у кристалічному фундаменті, у більшості випадків, приурочені до:

- корі вивітрювання майданного типу в межах блоків у рельєфі поверхні фундаменту;
- ділянкам розвитку тріщинуватих, катаклазованих, інтенсивно змінених вторинними процесами порід, приуроченим до розривних порушень і кори вивітрювання лінійного типу, що розвивається по лінії розривних порушень;
- зонам і ділянкам розвитку тріщинуватих, катаклазованих, мелонізованих інтенсивно змінених гідротермально-метосоматичними процесами порід у межах інтенсивно тектонічно порушених ділянок і приуроченої до них кори вивітрювання тріщинно-майданного типу.

Визначальними для формування покладів вуглеводнів у породах є колекторсько-ємнісні властивості порід. За результатами вивчення кристалічних порід у ДДЗ встановлено, що формування їхніх колекторських властивостей обумовлено в першу чергу тріщиноутворенням і гідротермально-метосоматичними процесами. У цілому породи фундаменту характеризуються низькими значеннями пористості, які в більшості випадків не перевищують 2%. Пористість, як загальна, так і відкрита, порід фундаменту істотно зростає в корі вивітрювання (особливо їхніх верхніх зонах) і зонах розривних порушень, (у середньому в 2-3 рази) і досягає для більшості порід 3-5% у середньому. Загальна пористість окремих зразків досягає 9-20%.

У той же час тріщиноутворення й гідротермально-метосоматичні процеси найбільше інтенсивно проявляються уздовж зон великих розривних порушень і на ділянках їхнього перетинання.

Так зони динамометаморфізму (катаклаз, мелонізація, тріщинуватість) і ділянки гідротермально-метосоматично змінених порід, які визначають наявність зон розушільнень, приурочені, головним чином, до відомих протяжних структурно-тектонічних зон: Скворцовська, Юл'євська,

Нарижнянська, Коробочкинська й ін., що може бути пошуковим критерієм при геологорозвідувальних дослідженнях.

Пошуковий інтерес при вивченні гіпсометрії кристалічного фундаменту представляють також "врізи" у рельєфі поверхні фундаменту.

Зазначені зони генетично пов'язані з тектонічними деструкціями кристалічного фундаменту, які піддаються багаторазової активізації. Кристалічні породи в межах цих зон інтенсивно катаклазовані, мелонізовані, видозмінені процесами гідротермальної діяльності, метасоматозу й ін. Найважливішим фактором є наявність системи зон розламів різного рангу, особливо скидних, скидно-надвигових з елементами скидання. Найбільш перспективними є вузли перетинання цих структур із глибинними тектонічними елементами, де формуються зони розущільнення.

Ефективність робіт з вивчення флюїдонасичення фундаменту прямо залежить від точності й вірогідності визначення геофізичної моделі тектонічних елементів у фундаменті, виділення найбільш активних зон, розподілу тектонітів і кори вивітрювання, визначення рейтингової оцінки невивчених територій і оптимального планування геологорозвідувальних робіт.

2 ТЕОРЕТИЧНІ Й МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СТРУКТУР

Прогнозна оцінка нафтогазоносності Північного борту ДДЗ виконується у два етапи. На першому з них за матеріалами масштабу 1:20000 виділяються найбільш перспективні ділянки, а на другому в межах цих ділянок виконуються більш детальні дослідження в масштабі 1:50000. Перехід від дрібномасштабного прогнозу нафтогазових покладів у масштабі 1:200000 до масштабу 1:50000 вимагає істотної зміни як використовуваної технологічної схеми, так і алгоритмічного наповнення її окремих пунктів. Крім того, змінюється не тільки масштаб зйомок, але й сам їхній перелік, і методи їхньої обробки, трансформування й аналізу. Разом з тим, загальні принципи виконання прогнозно-пошукових робіт залишаються незмінними, що дозволяє створити й використовувати єдину технологічну схему, змінюючи, залежно від масштабу, конкретні шляхи проходження інформації, і виконуючи або опускаючи окремі її етапи.

Нижче наведений опис даної технології, заснованої на інтегральних прогнозних моделях і методах інтелектуального аналізу геоданих.

2.1 Інтегральні прогнозні моделі

В основі використовуваної технології прогнозування лежать:

- інтегральна прогнозна модель (ІПМ) на основі описових і прогнозних моделей Data Mining;
- методи формування ІПМ;
- методи інтелектуального аналізу геоданих для одержання нових знань на основі ІПМ.

Інтегральна прогнозна модель – математична модель, що поєднує:

- різномірні й різнорівневі геодані і їхні інформативні набори;

- геологічні моделі;
- критерії оцінки їхньої взаємної погодженості;
- критерії формальної інформативності геоданих.

Основне призначення ІІМ – інтеграція різнорідних геоданих і геологічних фактів з метою мінімізації їхньої неузгодженості, що забезпечує підвищення вірогідності й геологічної змістовності результатів рішення прогнозно-пошукових задач.

Під **неузгодженістю** розуміється нездатність даних непрямих і дистанційних методів вивчення Землі адекватно описувати геологічне середовище. Неузгодженість є наслідком недостатньої інформативності, глибинності й роздільної здатності окремих геофізичних і аерокосмічних методів, адитивності потенційних геофізичних полів, наявності різноманітних шумових компонентів негеологічного походження й т.п. На практиці неузгодженість веде до внутрішньої суперечливості прогнозних моделей і відчутно знижує надійність одержуваних рішень.

Принципова схема технології наведена на рис. 2.1.

2.1.1 Базові одиниці ІІМ

ІІМ складається з 3-х описових й прогнозної моделі, які, у свою чергу, складаються з ряду базових моделей, серед яких:

- Такі, що формалізують геологічні факти й знання:
 - моделі природно-геологічного поділу (ПГП);
 - цифрова геологічна модель 1-го типу (ЦГМ1);
 - цифрова геологічна модель 2-го типу (ЦГМ2);

геодані:

- ознаки, що формують багатомірний ознаковий простір (ОП);
- Частини ІІМ, що підлягають оптимізації

- навчальні вибірки (НВ);
- контрольні вибірки (КВ);
- поділяючі набори ознак (ПН);
- діагностуючі набори ознак (ДН);
- вирішальні правила (ВП);

- Прогнози

- Критерії оптимальності і якості:

- критерії геологічної змістовності (ГЗ) і формальної інформативності (ФІ) ознак;
- показник якості кластеризації (ПЯК);
- критерії ГЗ і формальної якості (ФЯ) прогнозів.

Процес створення й використання ІМП включає:

- підготовку інформаційної основи (розрахунок ОП, підготовка ППП, ЦГМ1 і ЦГМ2);
- створення й оптимізацію НВ, РН і ДН, спрямовану на мінімізацію неузгодженості геоданих і геологічних фактів;
- формування прогнозної моделі на основі оптимізованих НВ і ДН, а також ВП;
- витяг нових знань із геоданих шляхом застосування методів пошуку закономірностей і прогнозування;

встановлення зворотних зв'язків між прогнозами й геоданими.

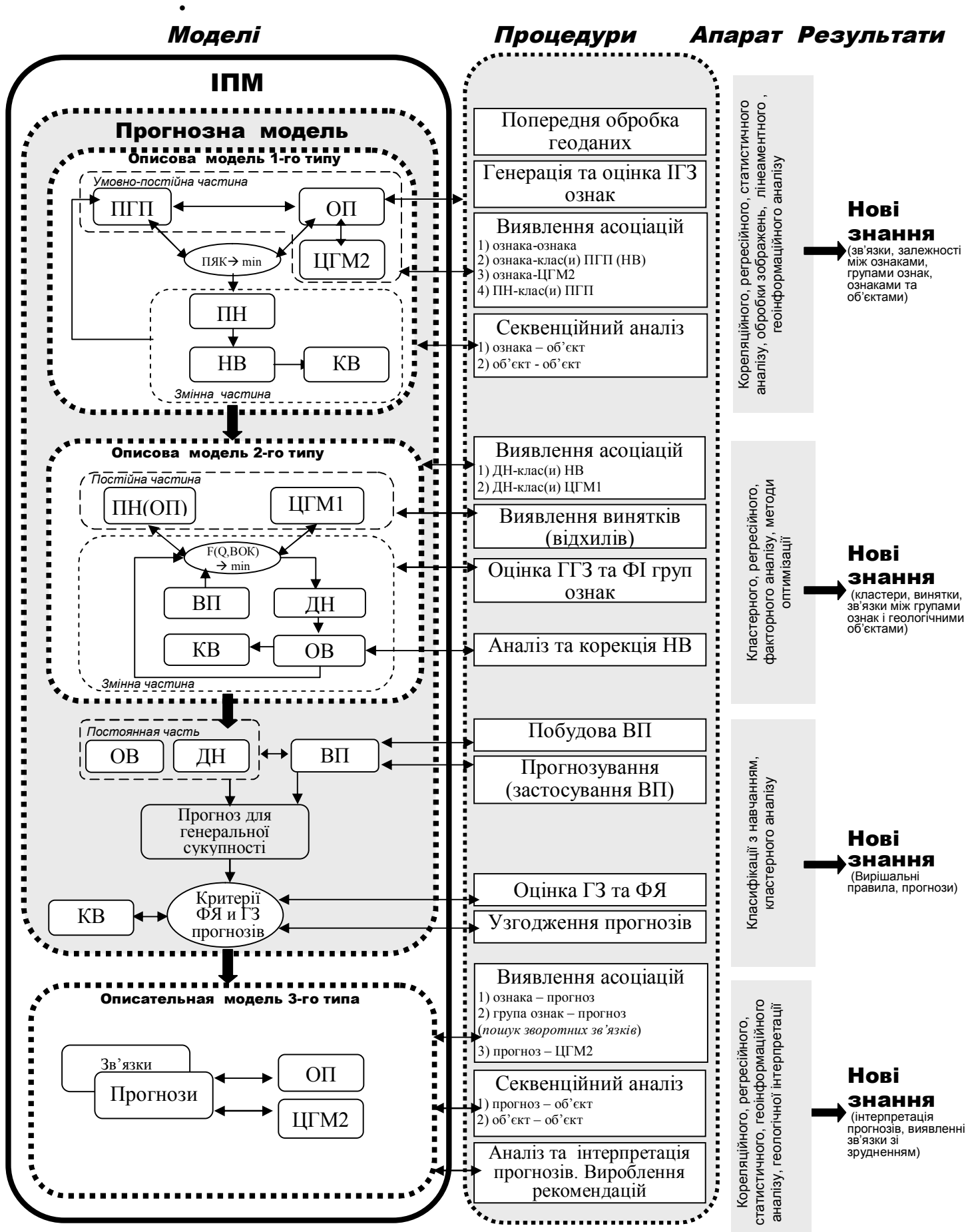


Рис. 2.1. Принципова схема технології

Нижче дана коротка характеристика базових модельних елементів ППМ.

Природно-геологічний поділ (ПГП) формалізує знання про відомі об'єкти прогнозованого типу (наприклад, вуглеводневих покладах, золоторудних об'єктах) і задає їхній поділ на класи відповідно до деякої класифікації, що відбиває об'єктивно існуючі й істотні для рішення поставленої задачі риси об'єктів (наприклад, поділ вуглеводневих покладів на нафтові, газові, газоконденсатні; або на пов'язані зі структурними й неструктурними пастками й т.п.)

ПГП використовується в рамках ОМ1 з метою вибору набору ознак, що забезпечує найбільш близький до ПГП поділ відомих об'єктів у багатомірному ознаковому просторі, що сприяє досягненню геологічно змістовних результатів прогнозування.

ППМ може використовувати декілька ПГП, створених з використанням різних принципів класифікації геологічних об'єктів прогнозованого типу.

Цифрові геологічні моделі 1-го й 2-го типів (ЦГМ1 і ЦГМ2), створювані експертом-геологом, формалізують майданну інформацію про вміщуючи середовище. ЦГМ1 будується на основі дрібномасштабної геологічної карти й відбиває положення полігональних геологічних структур найбільш низьких для даного масштабу рангів. ЦГМ1 використовується для оцінки здатності наборів ознак відбивати найбільш загальні риси геологічної будови.

ЦГМ2 містить інформацію про положення всіх вірогідно відомих полігональних і полілінійних геологічних об'єктів і використовується для оцінки ГЗ окремих ознак і прогнозів.

Ознаковий простір являє собою сукупність ознак, заданих в комірках регулярної мережі, що покриває досліджувану територію. Розрізняються вхідні ознаки, отримані в результаті первинної обробки натурних зйомок (фізичні поля, геохімічні ореоли, аерокосмічні знімки й т.п.) і їхні трансформанти, отримані шляхом математичних перетворень вхідних ознак.

Окремі класи становлять ознаки-характеристики геологічної будови, лінеаментних мереж і границь яскравості геозображень. Методи генерації ознак розглянуті в главі 2.2.

Навчальні (НВ) і контрольні вибірки (КВ) відбивають інформацію про місце розташування відомих об'єктів прогнозованого типу й формуються шляхом апроксимації комірками регулярної мережі проєкцій їхніх контурів на горизонтальну площину. Додатково НВ і КВ включають відомості про положення об'єктів, що свідомо не належать до шуканого типу (т.зв. «порожніх»). Структура й состав НВ і КВ визначаються в процесі формування ОМ1 і ОМ2.

Поділяючий набір (ПН) – сукупність ознак, що забезпечують поділ об'єктів НВ у багатомірному просторі, оптимальний з погляду його близькості до ПГП. Поділяючий набір будується при формуванні ОМ1. Його використання сприяє одержанню прогнозів, максимально погоджених з фактичною геологічною інформацією про об'єкти прогнозованого типу (т.зв., **цільові об'єкти**).

Діагностуючий набір (ДН) – сукупність ознак, для якої досягається оптимальне з погляду формальної інформативності й геологічної змістовності рішення задачі класифікації з навчанням. Діагностуючі набори створюються в рамках ОМ2 і використовуються в ПМ.

Розмірність і склад ДН, також як і ПН, визначаються в процесі формування ОМ1 і ОМ2. Формування ДН та НВ за своєю суттю зводиться до пошуку зв'язків між відомими об'єктами прогнозованого типу і геоданих, що їх описують. На основі виявлених зв'язків і сформульованих закономірностей може бути виконаний прогноз локалізації раніше невідомих об'єктів. Технологія припускає можливість виконання прогнозу на основі закономірностей, знайдених і іншими методами - секвенційного аналізу, пошуку асоціації й т.п., однак метод класифікації є найбільш універсальним і таким, що забезпечує прийнятні результати в більшості випадків.

Знайдені закономірності формалізуються у вигляді вирішальних правил, що дозволяють оцінити приналежність об'єктів класифікації до одного або декількох заздалегідь визначених класів або визначити ступінь приналежності об'єкта до певного класу.

Прогнози піддаються додатковому аналізу з метою оцінки їхньої якості й подальшої інтерпретації. Остання припускає оцінку зворотних зв'язків між прогнозами й ознаками, пошук асоціацій і секвенційний аналіз. Ряд прогнозів, отриманих із застосуванням різних вирішальних правил, можуть бути об'єднані шляхом застосування спеціальних методик узгодження (синтезу) прогнозів (див. главу 2.3).

Критерії індивідуальної (ІГЗ) і груповий (ГГЗ) геологічної змістовності служать для оцінки здатності ознак та їхніх груп відбивати об'єктивно існуючу геологічну будова досліджуваної ділянки. **ІГЗ** являє собою певним чином розраховану меру подібності ознаки зі ЦГМ2, а **ГГЗ** кількісно характеризує здатність групи ознак відбивати найбільш загальні риси геологічної будови, формалізовані в ЦГМ1. Способи обчислення ІГЗ і ГГЗ розглянуті нижче.

Критерії формальної інформативності (ФІ) і формальної якості (ФК) прогнозів використовуються для оцінки здатності ознаки або групи ознак забезпечувати формальне рішення завдання класифікації з мінімальними втратами. ФІ оцінюється шляхом обчислення оцінки апіорної ймовірності помилки класифікації (ЙПК). У якості критеріїв ФЯ використовується група апостеріорних показників якості класифікації, описаних у главі 2.3.

Структура ІІМ і ієрархія окремих базових елементів і моделей, що

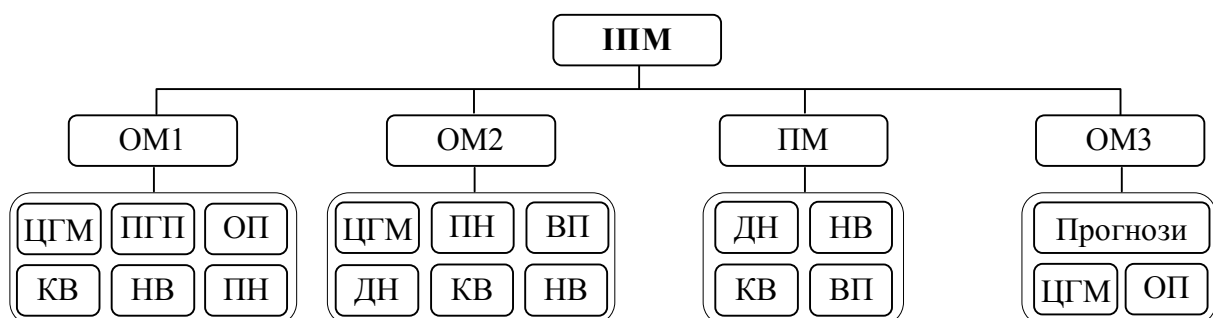


Рис. 2.2. Структура ІІМ

входять у її склад, показані на рис. 2.2.

2.1.2 Описові й прогнозні моделі інтелектуального аналізу геоданих

Перераховані базові елементи й зв'язки між ними формують більші частини ППМ – ОМ1, ОМ2, ОМ3 і ПМ. Нижче наведена коротка характеристика описових і прогнозних моделей, що входять в ППМ.

Описова модель 1-го типу (ОМ1) включає умовно-постійну частину, куди входять ПГП, ЦГМ2 і ОП, а також змінну частину, що складається з ПН, НВ і КВ. Елементи умовно-постійної частини використовуються як інформаційна основа моделі, елементи змінної частини формуються в ході побудови моделі.

При формуванні ОМ1 ставиться задача знаходження системи ознак (ОН), що забезпечує можливість такого поділу об'єктів НВ у багатомірному просторі, що було б максимально близьким до ПГП. Отриманий поділ використовується для формування НВ, які разом з отриманим ознаковим простором використовуються при побудові ОМ2.

Основні цілі побудови ОМ1 – а) одержання прогнозної моделі, що забезпечує відповідність геоданих і фактичної геологічної інформації про відомі об'єкти прогнозованого типу; б) забезпечення можливостей проведення процедур секвенційного аналізу й пошуку асоціацій «ознака-ознака» і «ознака-група об'єктів» (див. розділ 2.3); в) формування ознакового простору.

Крім того, результати побудови ОМ1 дають можливість дістати відповіді на наступні питання: 1) чи може наявне ОП забезпечити поділ (методами кластеризації, багатовимірного шкалювання й т.п.) еталонних об'єктів на класи, що мають явний геологічний зміст?; 2) чи потрібно взагалі розділяти загальну НВ, а якщо потрібно, то як?; 3) чи достатньо наявного ОП для одержання геологічно змістовних результатів?

Описова модель 2-го типу (ОМ2) включає: 1) постійну частину, куди входять ПН (або увесь раніше створений ОП) і ЦГМ2; 2) змінну частину, що складається із НВ, ДН і КВ; 3) критерії оптимальності одержуваних ДН.

Якщо на етапі формування ОМ1 упор робиться на вивчення об'єктів шуканого типу, то при створенні ОМ2 – на їхні взаємини із вміщуючим середовищем. Побудова ОМ2 дозволяє відповісти на запитання – чи можливо зробити відділення об'єктів навчальних вибірок кожного з класів від «порожнього» вміщуючого середовища?

У ході створення ОМ2 формуються пари діагностуючих наборів ознак і навчальних вибірок окремих класів, що забезпечують одержання прогнозів, оптимальних з погляду одночасного задоволення критеріям ГЗ і ГП. Таким чином, даний етап забезпечує можливість надалі одержувати нову інформацію, погоджену з геологічними фактами про вміщуючи середовище.

Формування ОМ1 і ОМ2 - фактично єдиний процес, що створює базу для одержання прогнозів, які мінімально суперечать відомим геологічним фактам.

Прогнозування виконується на основі **прогнозної моделі (ПМ)**, що включає знайдені раніше НВ, ДН і побудовані на їхній основі вирішальні правила класифікації, а також КВ і ряд критеріїв якості.

Технологія використовує вирішальні правила різного типу - детерміністські, статистичні, логічні й нейромережеві. Прогнозування полягає в застосуванні вирішальних правил з метою віднесення об'єктів генеральної сукупності до одного із заздалегідь визначених класів (задача класифікації), або для оцінки ступеня приналежності об'єктів одному із класів (задача ранжирування).

Знайдені рішення оцінюються шляхом обчислення показників ГЗ і ФЯ, і при необхідності поєднуються шляхом застосування спеціальних методів узгодження (синтезу) прогнозів і подаються на вхід ОМ3.

Описова модель 3-го типу (ОМ3) включає, крім прогнозів, вихідне ОП і ЦГМ2. Головна мета використання ОМ3 - інтерпретація отриманих на попередніх етапах результатів, що включає:

- встановлення зворотних зв'язків між прогнозами й окремими ознаками, у тому числі такими, що не ввійшли в ДН, шляхом пошуку парних асоціацій «прогноз-ознака»;

- пошук асоціацій « прогноз-ЦГМ2»;

- секвенційний аналіз « прогноз-об'єкт» (див. розділ 2.3).

На підставі отриманих оцінок ГЗ і ФЯ прогнозів і виявлених закономірностей приймається рішення або про перехід до етапу формулювання висновків і рекомендацій, або про повторення досліджень (з використанням іншого ПГП, ЦГМ1 або із залученням додаткових геоданих).

Формуванню ІПМ повинен передувати етап постановки задачі досліджень, що включає:

- формулювання основних і додаткових цілей досліджень;
- вибір форми подання результатів прогнозу (категорійний або нечіткий);
- визначення вимог до точності й геологічної змістовності одержуваних проміжних і підсумкових рішень;
- визначення підходів до створення ПГП і ЦГМ1.

2.1.3 Методика формування ІПМ

Відповідно до принципу сумісності процес створення ІПМ зводиться до послідовного формування ОМ1, ОМ2, ПМ і ОМ3, як описано нижче.

Створення описової моделі 1-ц типу.

Мети й завдання. Метою формування ОМ1 є узгодження ОП із ПГП і ЭВ із ПГП, а також рішення наступних завдань:

- поділ навчальної вибірки на класи;
- створення ознакового простору, що забезпечує поділ навчальної вибірки (методами кластеризації, багатомірного шкалювання й т.п.), максимально близьке до ПГП;
- кількісна оцінка придатності наявного ознакового простору для рішення задач класифікації з необхідною погрішністю;
- формування контрольної вибірки й ряд інших задач.

Основою формування OM2 є модель ПГП, ЦГМ2, а також сукупність вихідних геоданих.

Природно-геологічний поділ природних об'єктів приймається за об'єктивний й будь-який проміжний або остаточний результат роботи технології повинен бути в тім або іншому ступені з ним погодженим. В ідеальному випадку ознаковий простір забезпечує поділ об'єктів у повній відповідності із ПГП. Але на практиці такий поділ об'єктів у багатомірному ОП малоймовірний (що пов'язано з неузгодженістю геоданих та геологічної будови). Тому ставиться завдання знаходження такої системи ознак, що забезпечувала б поділ об'єктів НВ у багатомірному просторі (наприклад, шляхом кластеризації), максимально близьке до ПГП. Знаходження такої системи ознак є необхідною умовою одержання геологічно змістовних результатів.

Іншим важливим завданням, розв'язуваним на даному етапі, є формування ознакового простору. Кількість ознак, які можуть бути отримані шляхом трансформування вихідних даних (див. главу 2.2), потенційно практично нескінченно. Будь-який вихідний набір даних може бути трансформований безліччю методів і алгоритмів, при різних їхніх налаштуваннях і значеннях параметрів, з використанням ковзних околиць різних розмірів і форм.

Це породжує 2 проблеми.

1. Технічно вкрай важко спочатку розрахувати всі можливі ознаки й уже потім оцінювати їхню групову інформативність. На сучасних багатоядерних

комп'ютерах розрахунок діагностуючих наборів для мережі розміром 300x300, 400 вихідних ознак і 50 еталонних об'єктів займає біля 10-12 годин. Відповідно, ставиться задача обмеження кількості використовуваних ознак.

2. З іншого боку, апріорі неможливо гарантувати, що деякий наявний набір ознак є достатнім для рішення поставлених прогностичних задач із максимально можливою точністю. Тому необхідна його попередня перевірка на здатність розділяти відомі об'єкти згідно ПГП і відокремлювати їх від «порожнього» вміщуючого середовища.

Для рішення цих проблем запропонований підхід, заснований на т.зв. «пакетах» ознак. Пакет – сукупність із 20-30 ознак, що потенційно мають близькі значення ІГЗ.

Для визначення складу пакетів були проведені масштабні експериментальні дослідження. На великій кількості фактичного матеріалу були обчислені середні значення ІГЗ для трансформацій, виконуваних різними методами. Отримані значення і були використані для визначення складу та структури пакетів.

При побудові ППМ спочатку розраховується пакет ознак з потенційно найвищою ІГЗ і відбувається перевірка його здатності розділяти об'єкти навчальної вибірки згідно ПГП. Якщо результат незадовільний, розраховується новий пакет ознак з більше низької ІГЗ, і додається до існуючого ОП.

Створений ознаковий простір повинен забезпечувати можливість одержання геологічно змістовних рішень при мінімальній кількості пакетів і, відповідно, малозмістовних ознак.

Методика формування ОМ1. Циклічно виконуються кроки (див. рис. 2.3):

1. Розраховується черговий пакет ознак.
2. Знаходиться поділяючий набір ознак (ПН), що забезпечує кластеризацію об'єктів, максимально близьку до ПГП. Процедура виконується

будь-яким з відомих методів пошуку оптимальних систем ознак (послідовного приєднання, послідовного відкидання, випадкового пошуку, випадковий пошук з адаптацією, приєднання з відкиданням, метод гілок і границь і т.п.). Для цього організується ітераційний процес, і на кожному його кроці шукається набір, що мінімізує параметр якості кластеризації

$$ПЯК = S_{вк} / S_{мк},$$

де $S_{вк}$ – середня внутрішньокластерна відстань для N кластерів; $S_{мк}$ – середня міжкластерна відстань. Розрахунок $S_{вк}$ і $S_{мк}$ виконується для об'єктів моделі ПГП у поточному багатомірному просторі, за умови, що приналежність до кластерів задана ПГП.

Слід зазначити, що підхід з обчисленням ПЯК дозволяє оцінювати можливість поділу об'єктів на кластери без проведення кластеризації, що вимагає значно менших обчислювальних витрат.

3. Після знаходження ПН, що мінімізує ПЯК, будується кластеризація в просторі ознак ПН. Кількість кластерів повинна бути рівною або близькою до кількості класів ПГП. Оцінюється розходження між отриманою кластеризацією й ПГП, що характеризує придатність наявного ОП для досягнення класифікації, яка б мінімально суперечила відомим геологічним фактам.

4. Якщо отримане значення розходження:

- не задовольняє, виконується перехід до пункту 1 і додавання нового пакета в ознаковий простір;

- задовольняє, виконується перехід до корекції структури й складу навчальних вибірок і, далі, до наступного технологічного етапу, - формуванню описової моделі 2-го типу.

Якщо розмірність ПН мала (менше 15-20 ознак), то на вхід ОМ2 можуть подаватися всі пакети ознак, використані для досягнення мінімуму ПЯК. Це доцільно тому, що при надто малій розмірності ОП велика ймовірність того, що наявних ознак буде недостатньо для побудови діагностуючих наборів окремих класів, що забезпечують прийнятні помилки

класифікації. У кожному з випадків досягається важлива мета - забезпечити передачу на наступний етап сукупності ознак, необхідну для поділу об'єктів, достатньо близького до ПГП. Якщо серед переданих у пакетах ознак є малоінформативні, то надалі вони будуть виявлені в ході побудови діагностуючого набору й відкинуті.

5. Якщо одержання задовільних значень розходження неможливо навіть після розрахунку декількох (5-8) пакетів, і розходження при додаванні нових пакетів не зменшується, то змінюється гіпотеза про ПГП (наприклад, поділ виконується не за формою рудних тіл, а за їх розмірах або глибині залягання), і етапи 2-3 повторюються знову. Слід зазначити, що можна розрахувати й більшу кількість пакетів у надії домогтися зниження ПЯК, але це чревате введенням в ОП великої кількості ознак з низкою ІГЗ і, як наслідок, зниження надійності одержуваних прогнозів.

За результатами кластеризацій і багатомірного шкалювання в знайденому ОП виконується:

а) перерозподіл об'єктів між вибірками K_1, K_2, \dots, K_N з метою підвищення їхньої компактності;

б) видалення з навчальної вибірки об'єктів, віддалених від центрів всіх кластерів або таких, що попадають у різні кластери при використанні різних методів поділу. Вилучені об'єкти переводяться в контрольну вибірку. У такий спосіб досягаються дві мети: 1) зниження ймовірності помилкової класифікації й 2) забезпечення контролю результатів. Способи й практичні прийоми аналізу й корекції навчальних вибірок наведені нижче .

Використання описаної методики дозволяє виконувати перевірку адекватності різних моделей ПГП, заснованих на різних принципах класифікації цільових об'єктів. Для цього на одному або декількох пакетах ознак для різних варіантів ПГП виконуються пункти 2-4. ПГП, для якого мінімізується розходження з одержуваної в пункті 3 кластеризацією, рекомендується для подальшого використання.

Результати. У підсумку після формування описової моделі 1-го типу досягаються наступні цілі:

- 1) створення навчальних і контрольних вибірок;
- 2) знаходження ПН, для якого мінімізується розходження виділених кластерів від класів моделі ПГП. Знайдена система ознак використовується для створення діагностуючих наборів для окремих класів еталонів на етапі формування описової моделі 2-го типу (ОМ2);
- 3) кількісна оцінка придатності наявного ОП для рішення задач класифікації, у якості якої виступає величина розходження кластеризації в знайденому «найкращому» ОП і ПГП.

Створення описової моделі 2-го типу.

Мети й завдання. При формуванні ОМ2 основною метою є узгодження навчальних вибірок і діагностуючих наборів. При цьому досягаються наступні проміжні цілі:

- оптимізація складу й структури навчальних вибірок окремих класів;
- кількісна оцінка здатності ОП відбивати загальні риси геологічної будови досліджуваної території;
- розширення контрольних вибірок;
- формування діагностуючих наборів, що забезпечують одержання геологічно змістовних і інформативних прогнозів.

ОМ2 формується на основі:

- знайденої системи ознак (набору пакетів, що дозволяє мінімізувати розходження між ПГП і кластеризацією об'єктів навчальної вибірки в багатомірному просторі; або, при досить великій кількості ознак, безпосередньо знайденого ПН).

- сукупності скоректованих навчальних вибірок (K_1, K_2, \dots, K_N і «порожній» K'). Якщо «перспективних» вибірок трохи, тобто $N > 1$, то вибірки групуються в пари « K_1-K' », « K_2-K' », ..., « K_N-K' »...

- цифрової геологічної моделі ЦГМ1, що відбиває найбільш загальні відомості про геологічну будову території. Модель має бути попередньо переведа в сіткову форму шляхом растеризації.

Методика створення ОМ2. Якщо ставиться задача одержання категорійного прогнозу (тобто завдання поділу генеральної сукупності на кілька взаємовиключних класів), то зазначені нижче пункти 1-3 виконуються один раз, одночасно для всіх навчальних вибірок.

Якщо ставиться завдання одержання «нечіткого» прогнозу, що припускає можливість приналежності об'єкта відразу декільком класам і такий, що полягає в обчисленні деякій кількісній мірі приналежності об'єкта до класів K_1, \dots, K_N (інакше – задача ранжирування), то процес виконується N разів, окремо для кожної пари навчальних вибірок.

Методика включає наступні кроки (див. рис. 2.4):

1. На основі раніше відібраних пакетів ознак (або ПН) знаходиться діагностуючий набір. Він повинен забезпечувати не тільки формальну інформативність, але й геологічну змістовність одержуваних на його основі рішень. Для цього ставиться задача знаходження системи ознак, при якій досягається мінімум функціонала $f(\text{ЙПК}, Q)$, де ЙПК – імовірність помилки класифікації при використанні деякого набору ознак і використовуваного вирішального правила класифікації; Q – параметр, що характеризує геологічну змістовність набору.

Для визначення ЙПК використовується будь-який з розроблених критеріїв оцінки байесовської ЙПК (наприклад, на основі відстані Фішера, Бхаттачарія, Колмогорова, дивергенції Кульбака або евристичних показників і ін.)

Q обчислюється в такий спосіб. Нехай даний деякий фіксований набір сіткових ознак X' і ЦГМ1. Коміркам ЦГМ1 приписані вірогідно відомі значення деякого геологічного атрибута (наприклад, вік порід, назва літологічної відмінності й т.п.). Будемо умовно розглядати кожну сукупність комірок ЦГМ1 з однаковим значенням атрибута, як окремий кластер C_i , $i=1..M$, де M – кількість унікальних значень атрибута. Нехай приналежність об'єктів генеральної сукупності певним кластерам задається значеннями відповідних комірок ЦГМ1.

У цьому випадку Q може бути розрахований аналогічно ПЯК, але не для об'єктів навчальних вибірок, а для генеральної сукупності, як $Q = S_{вк}/S_{мк}$.

Q відображає компактність розташування об'єктів з однаковим значенням атрибута в багатомірному просторі ознак і, фактично, характеризує здатність набору ознак відбивати найбільш загальні риси геологічної будови території. Чим нижче значення Q , тим більше геологічно змістовним є набір ознак.

Побудова діагностуючого набору виконується кожним з відомих методів (послідовного приєднання, послідовного відкидання, випадкового пошуку, випадковий пошук з адаптацією, приєднання з відкиданням, «гілок і границь» і т.п.); на кожній ітерації вирішується задача многокритеріальної оптимізації, що полягає в пошуку такої сукупності ознак, при якій досягається мінімум функціонала $f(ЙПК, Q)$. Практично дане задача може бути вирішена, наприклад, за допомогою вибору рішення з безлічі парето-оптимальних (недомінуємих) альтернатив.

Фактично, оптимізація $ЙПК$ забезпечує відповідність результатів наявним відомостям про цільові об'єкти, Q – геологічним фактам про геологічне середовище в цілому.

Знайдений діагностуючий набір дозволяє досягти прийняттого поділу об'єктів класів у багатомірному просторі при збереженні геологічної змістовності (оскільки, використовуючи його, можна одержати кластеризацію, досить близьку до ЦГМ1).

2. На основі знайденого діагностуючого набору ознак виконується аналіз і корекція відповідних навчальних вибірок за допомогою однієї з описаних вище

методик. Основна увага на цьому етапі приділяється виявленню й відкиданню еталонів, що попадають у ті області багатомірного простору, які зайняті переважно еталонами інших класів (класу). Відкинуті еталони переміщуються в контрольну вибірку.

3. Ітераційно виконуються пункти 1 і 2 доти, поки на черговому етапі структура й склад вибірок класів не перестане змінюватися, що є свідченням максимально можливого узгодження ДН і НВ.

У випадку, якщо навіть після виконання декількох ітерацій діагностуючий набір не забезпечує прийнятних значень ЙПК, рекомендується зміна типу вирішального правила. Характеристики вирішальних правил різних типів і оцінки їхньої ефективності при вирішенні прогностно-пошукових геологічних задач наведені в розділі 2.3.

Результати. У підсумку формування описової моделі 2-го типу досягаються наступні цілі:

- одержання скорегованих вибірок пара класів « K_1-K' », « K_2-K' », ..., « K_N-K' » (при нечіткому прогнозі) або вибірки класів K_1, K_2, \dots, K_N , а також класу K' (при категорійному прогнозі);
- відповідні їм діагностуючі набори ознак;
- апріорні оцінки якості класифікації.

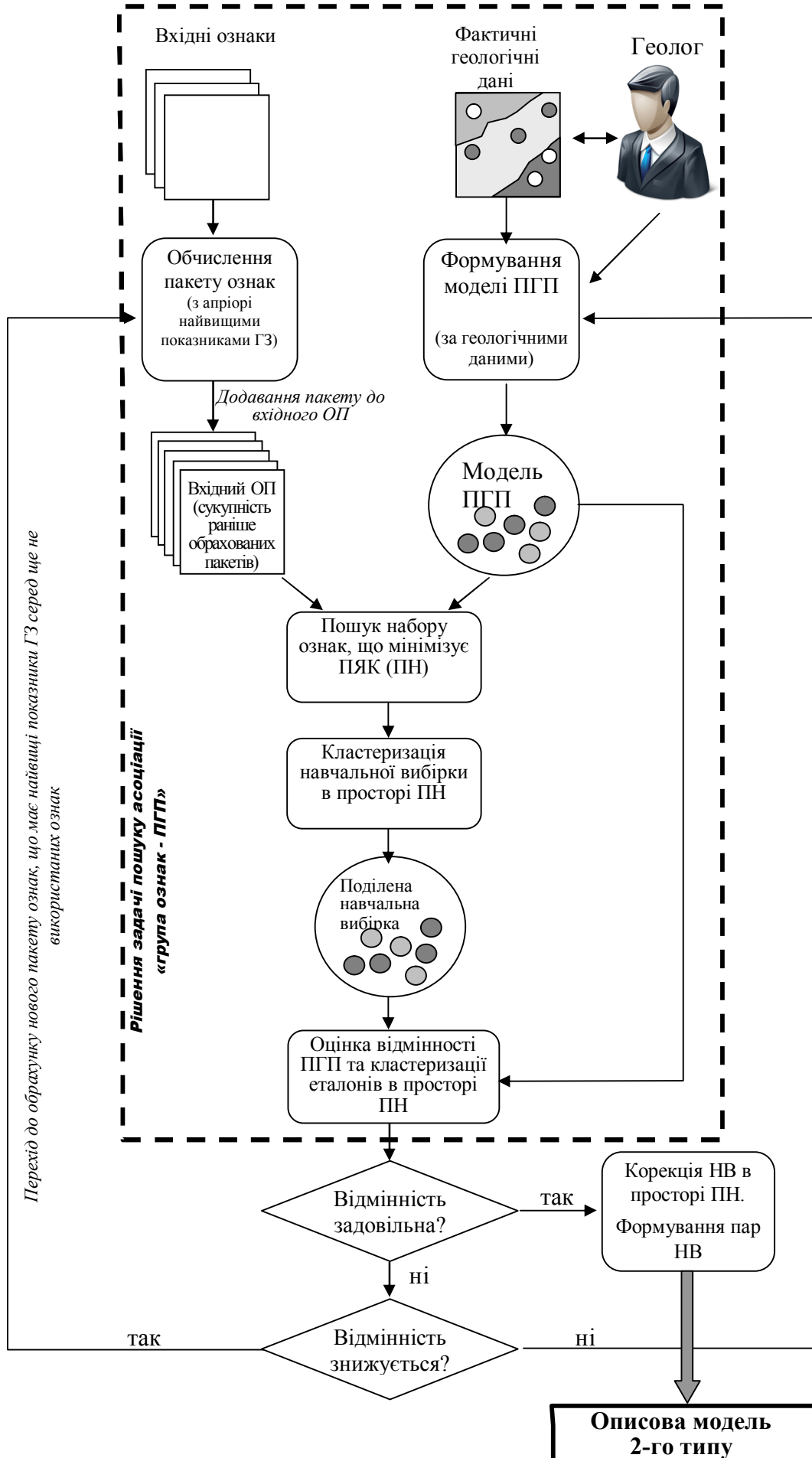


Рис. 2.3. Схема формування описової моделі 1-го типу

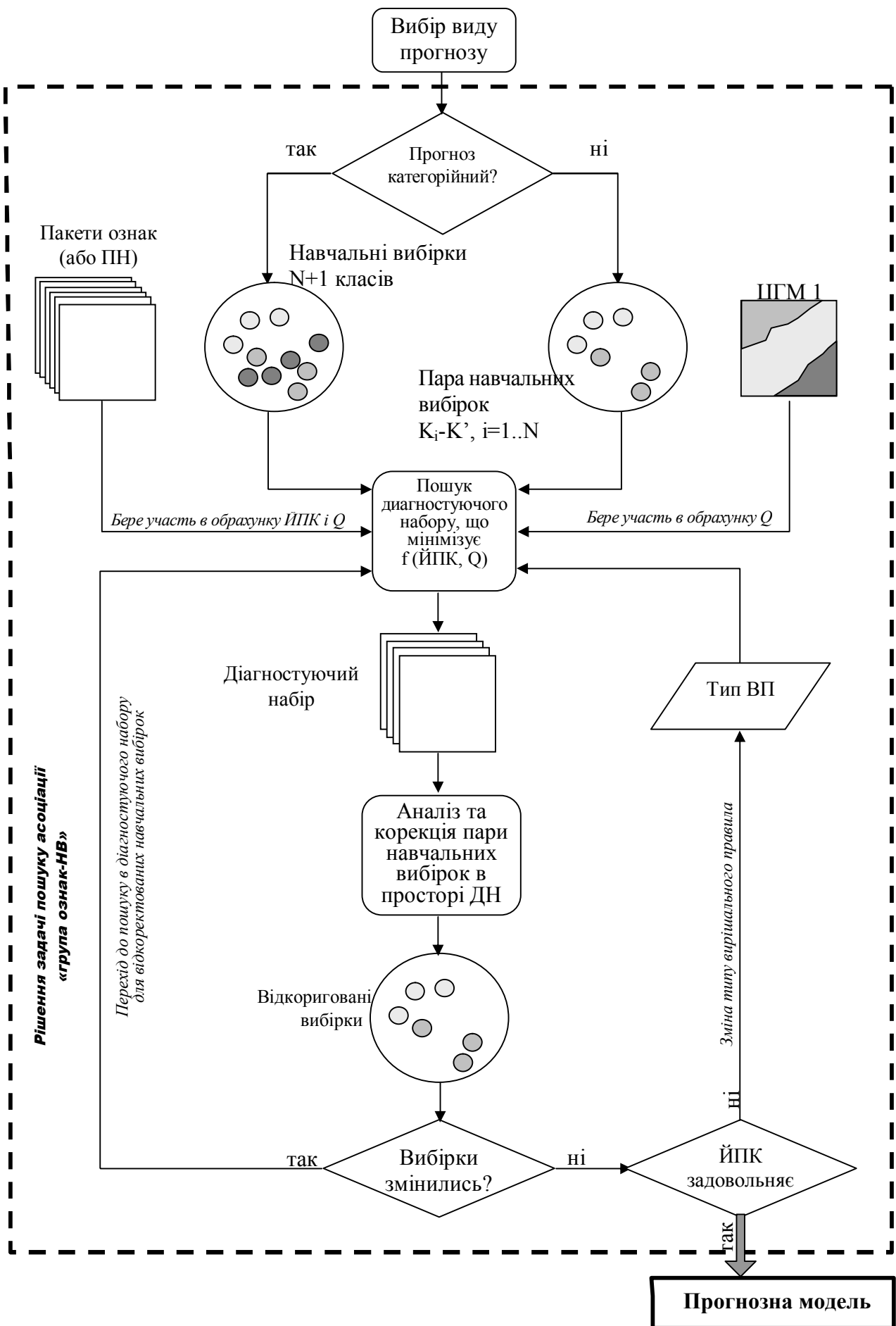


Рис. 2.4. Схема формування описової моделі 2-го типу

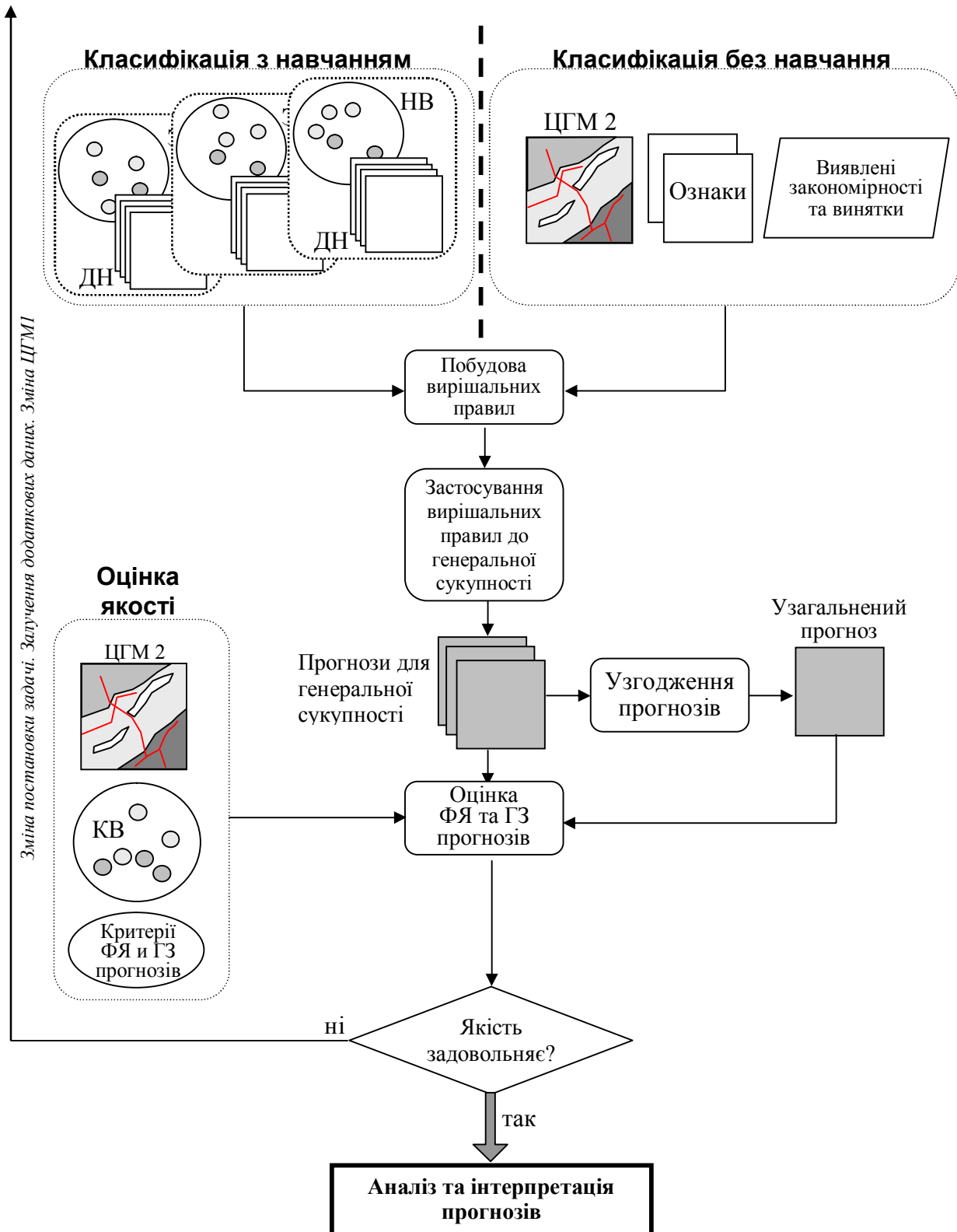


Рис. 2.5. Схема формування і використання прогнозної моделі

Прогнозна модель. Прогноз, у загальному значенні, являє собою результат визначення невідомої характеристики (інакше називаної *залежною змінною*) об'єкта (або явища, процесу, події) на основі сукупності відомих характеристик (*незалежних змінних*). Процес виконання прогнозу називається прогнозуванням і виконується у два етапи: на першому, використовуючи набори даних з відомими значеннями залежної змінної або виявлені раніше закономірності, будується прогнозна модель; на другому вона використовується для передбачення невідомих значень залежної змінної.

Найбільш універсальним і ефективним методом прогнозування в геології є класифікація з навчанням (інакше – контрольована класифікація або з навчанням із учителем).

Під класифікацією розуміється оцінка ступеню приналежності аналізованих об'єктів до одного або декількох із заздалегідь визначених класів. Класифікація виконується на основі вирішального правила класифікації (або інакше – класифікатора), під яким розуміється спосіб (правило) оцінки приналежності об'єкта класифікації до класів на підставі його образу, що задається вектором ознак.

Для проведення класифікації повинні бути присутніми (і бути виділеними) ознаки, що характеризують кожний із класів і дозволяють відрізнити один клас від іншого. Виділення таких ознак доцільно виконувати в ході побудови поділяючих і діагностуючих наборів; рідше – у процесі аналізу зв'язків (див. розділ 2.3).

При виконанні класифікації з навчанням вирішальні правила формуються на підставі аналізу вже класифікованих об'єктів, згрупованих у навчальні вибірки. Він дозволяє встановити статистичні, логічні або детерміновані зв'язки між геологічним середовищем і даними, що його описують, і використовувати їх для класифікації.

Формування НВ і ДН у рамках побудови ОМ1 і ОМ2 по своїй суті представляє процес пошуку таких зв'язків. На їхній основі будуються вирішальні правила й виконується прогноз локалізації невідомих об'єктів.

У геологічній практиці існує дві основні постановки задачі класифікації з навчанням:

- обчислити кількісну міру приналежності об'єкта до одному з декількох класів, що дозволяє здійснити т.зв. *нечіткий* прогноз.
- визначити клас, для якого міра приналежності об'єкта, що класифікується, найвища. Рішення задачі в цій постановці дозволяє одержати *категорійний* прогноз.

Задача в першій постановці інакше зветься *ранжируванням*, у другий – *розпізнаванням*.

Також вирішальні правила можуть створюватися на основі раніше виявлених просторових або інших закономірностей, що зв'язують цільові об'єкти з геоданими або геологічними фактами. Такий підхід не вимагає використання еталонів, і реалізує принцип класифікації без навчання.

Прогноз виконується в рамках прогнозної моделі, що включає:

- навчальні вибірки класів і відповідні їм діагностуючі набори;
- вирішальні правила класифікації;
- критерії оцінки формальної якості й геологічної змістовності прогнозів, а також даних, використовуваних для прогнозування;
- контрольні вибірки;
- цифрову геологічну модель 2-го типу.

Останні 3 компоненти моделі служать для оцінки її *адекватності*, тобто здатності відтворювати реально існуючу геологічну ситуацію й відбивати локалізацію цільових об'єктів.

Схема, що ілюструє процес побудови й використання прогнозної моделі, наведена на рис. 2.5.

Описова модель 3-го типу. Основні цілі використання ОМ3:

- аналіз і інтерпретація результатів прогнозування, а також виявлених закономірностей;
- виявлення нових закономірностей на основі аналізу результатів прогнозу;
- формування науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень.

ОМ3 включає наступні основні елементи:

- прогнози, отримані з використанням ПМ;
- закономірності, виявлені на основі ОМ1 і ОМ2;
- вихідні й розраховані ознаки;
- цифрову геологічну модель 2-го типу.

У цілому, як висновки по главі, необхідно відзначити наступне:

- **ціль створення ОМ1 і ОМ2 - одержання прогнозної моделі, що забезпечує відповідність прогнозів і фактичної геологічної інформації, а також задоволення формальним критеріям їхньої якості;**
 - використання пакетів ознак і оцінка їхньої групової інформативності шляхом розрахунку ПЯК дозволяє зменшити неузгодженість прогнозної моделі й зробити попередній відбір інформативних ознак без істотних обчислювальних витрат;
 - при формуванні ОМ1 основна увага приділяється відомим об'єктам цільового типу, при створенні ОМ2 – їхнім взаєминам із вміщуючим середовищем;
 - етап побудови ОМ1 дозволяє одержати інформативний пакет ознак і первісний поділ об'єктів НВ на окремі вибірки; етап створення ОМ2 – відкоригувати вибірки й знайти відповідні їм діагностуючі набори, що забезпечують рішення задачі класифікації, оптимальне з погляду геологічної змістовності й формальної якості;

- створення ОМ1 і ОМ2 служить досягненню головної мети технології – одержання нових знань, що мінімально суперечать відомим геологічним фактам;
- ПМ є основою застосування виявлених закономірностей для рішення прогностно-пошукових задач методами класифікації з навчанням і без навчання;
- ОМ3 використовується для аналізу й інтерпретації результатів, отриманих на основі ОМ1, ОМ2 і ПМ;
- ІПМ створює основу для застосування методів інтелектуального аналізу геоданих, описаних у главі 2.3.

2.2 Геодані і їхні трансформанти

Геодані – просторово-прив'язанні результати геофізичних, аерокосмічних, топографічних і інших зйомок, – становлять інформаційну основу технологи прогнозування вуглеводневих об'єктів. Геодані є основою для формування **ознак** – обмірюваних або обчислених описів геологічного середовища, використовуваних для рішення прогностно-пошукових задач методами інтелектуального аналізу геоданих.

Нижче розглянуті основні методи генерації ознак, які обчислюються для різнорівневих і різнохарактерних геоданих, обмірюваних по регулярній мережі. Окремо викладена методика інтерактивного виділення лінеаментів, що дозволяє досягти високої якості побудови мереж лінеаментів, що мають, як встановлено численними дослідниками, тісний, статистично встановлений зв'язок з нафтогазовими об'єктами.

2.2.1 Основні методи генерації ознак

Найважливішим етапом створення ІПМ є генерація ознак. Ознаки - обмірювані або обчислені характеристики, що відбивають будову

геологічного середовища, і використовуються як інформаційна основа технології. Їхня сукупність називається ознаковим простором (ОП; або – простором описів).

У результаті виконання дій по формуванню ознакового простору кожній точці (комірці, вузлу) мережі 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.

Здатність ознакового простору адекватно описувати досліджувані явища, об'єкти або процеси визначає якість і змістовність одержуваних геологічних знань.

Незважаючи на ріст розмаїття й об'ємів виконуваних зйомок, ознаковий простір, сформований тільки зі спостережених ознак, у більшості випадків не має достатню інформативність для якісного рішення прогностно-пошукових задач. Вирішити цю проблему можна шляхом 1) обчислення трансформант вхідних геоданих, які б більшою мірою відбивали ті або інші істотні аспекти досліджуваного явища або процесу; 2) побудови ознак, що формалізують наявні геологічні знання.

У якості вихідних даних для створення ознак використовуються:

- результати майданних геофізичних зйомок (гравітаційних, магнітних, електричних, ядерно-геофізичних і ін.);
- матеріали аеро- і космозйомок у різних діапазонах спектра;
- геологічні дані, представлені як у цифровому, так і паперовому вигляді;
- цифрові моделі рельєфу й інших структурних границь (горизонтів, фундаменту й т.п.);
- майданні ландшафтні характеристики;
- результати майданних геохімічних зйомок;
- інші матеріали, що несуть інформацію, змістовну з погляду вирішення конкретного завдання;

- результати математичного трансформування даних всіх перерахованих вище видів.

Первісні дані можуть бути представлені як у сітковій (або близької до неї растровій), так і у векторній формах. Сіткові й растрові дані (геофізичні поля, геохімічні ореоли й т.ін.) при необхідності фільтруються й піддаються різним трансформаціям. Окремій обробці піддаються аерокосмічні матеріали. Крім стандартних операцій регулювання яскравості, контрастності, чіткості й т.п., велике значення мають процедури сегментації, бінаризації, і ряд інших, спеціально модифікованих і адаптованих для вирішення геологічних задач. Векторні дані, представлені на паперових носіях (геологічні границі, розривні структури й т.п.), скануються, геореференціюються й векторизуються. Однотипні об'єкти групуються у векторні картографічні шари.

Двом формам подання даних відповідають два основних підходи до опису геологічного простору - піксельний і об'єктно-орієнтований. Піксельний заснований на поділі простору регулярною мережею, де з кожним елементом (коміркою мережі) може бути зв'язаний практично необмежений набір атрибутів. Об'єктно-орієнтований підхід базується на поданні інформації у вигляді полігональних і полілінійних об'єктів, які при необхідності переводяться в сіткову форму шляхом растеризації. Технологія дозволяє використовувати для формування ознак обидва підходи (рис. 3).

Формовані ознаки можуть бути розділені на **4 групи**:

1) матеріали майданних геофізичних і геохімічних зйомок, цифрові моделі рельєфу, космічні знімки і їхні трансформанти;

2) результати обробки геологічних даних;

3) характеристики систем лінементів геофізичних полів, цифрових моделей рельєфу й космічних знімків;

4) ознаки, створювані на основі виділення границь яскравості геозображень.

Розрахунок ознак **1-ої групи** використовує піксельний підхід, і заснований на трансформуванні майданних геоданих, безперервно розподілених уздовж денної поверхні й обмірюваних по регулярній мережі.

Розроблено безліч трансформацій, заснованих на функціональному, статистичному, кореляційному, фрактальному і геометричному підходах до опису геоданих. Трансформування виконується з використанням принципу ковзної околиці, коли для розрахунків використовуються значення комірок, що попадають усередину прямокутної області фіксованого розміру, а результат обчислень приписується центральній комірці області. Ковзна околиця пересувається по ділянці таким чином, щоб її центр послідовно збігся з усіма комірками мережі (крім крайових, т.зв. «бордюрів»). Для розрахунку ряду ознак, наприклад, що представляють вегетаційні індекси, використовується вікно розміром 1x1 комірка мережі.

При обчисленні сіткових ознак з використанням ковзної околиці велике значення має вибір її розмірів. Проведені масштабні дослідження показали, що незважаючи на поширену думку про наявність деякого одного або декількох «оптимальних» розмірів околиці, що дозволяють одержати найбільш інформативні ознаки, «оптимального» розміру ковзної околиці для розрахунків трансформанта не існує, а для забезпечення точності результатів прогнозування рекомендується розрахунок трансформанта з використанням вікон різних розмірів.

Ознаки **2-ої** і **3-ої груп** реалізують об'єктно-орієнтований підхід до опису. Вони будуються шляхом обробки векторних даних, до яких належать а) дані про геологічні об'єкти певного типу (геологічних границях, розривних порушеннях, рудних зонах, точках мінералізації й т.п.) і б) лінеаменти - лінійні структури природного походження, виділювані на космічних знімках, растрових картах геофізичних полів і цифрових моделей рельєфу.

Лінеаменти представляють лінійні неоднорідності земної кори й літосфери різного рангу, довжини, глибини й віку закладення, що

групується в системи певних фіксованих напрямків. Лінеаменти пов'язані із системами розламів різного порядку, лініями максимальної геодинамічної активності, силовими лініями полів тектонічних напруг, а також зонами підвищеної проникності земної кори й ін. Лінеаменти можуть служити каналами для підведення різних флюїдів і розчинів, забезпечувати поліпшення колекторських властивостей середовища, і таким чином, служити прямими індикаторами при прогнозі й пошуку родовищ корисних копалин.

Зазначені фактори обумовлюють важливість проблеми підвищення якості виділення лінеаментів. Для її вирішення в ході проведення робіт виконані дослідження, основні результати яких зводяться до наступним:

- оцінений вплив параметрів найбільш відомого алгоритму виділення границь яскравості геозображень - т.зв. оптимального детектора Кенні [5] - на якість виділення лінеаментів і дані практичні рекомендації з їх вибору;

- запропонована методика інтерактивного виділення лінеаментів, що базується на ряді прийомів обробки зображень (псевдокольорове кодування, еквалізація гистограм і ін.), що є ефективною при роботі з космознімками геологічно закритих районів, а також картами потенційних геофізичних полів. Зазначена методика розглянута в наступній главі. Методика викладена нижче;

- розвинений підхід до підвищення якості виділення лінеаментів, заснований на виконанні попередньої обробки аналізованих геозображень (фізичних полів, представлених у вигляді растрових карт і 3D поверхонь, цифрових моделей рельєфу, космічних знімків). Проведені експериментальні дослідження низки відомих методів фільтрації показали, що підвищення якості виділення лінеаментів може бути досягнуте шляхом застосування до вихідних геозображень високочастотного фільтра Баттерворта й ідеального фільтра високих частот. Для оцінки якості виділення запропоновано кілька критеріїв, що враховують кількість і цілісність границь яскравості, виділюваних на оброблених геозображеннях;

- створена методика виділення й аналізу лінеаментів на багатоканальних космічних знімках. Проведені обчислювальні експерименти продемонстрували переваги використання декількох спектральних каналів замість окремих синтезованих або панхроматичних знімків.

Матеріали лінеаментного аналізу можуть використовуватися при рішенні прогнозно-пошукових задач 1) для формування нових ознак; 2) побудови вирішальних правил; 3) у якості основи для секвенційного аналізу.

Оскільки як основна модель подання даних технологія використовує сіткову, виникає необхідність приведення векторних матеріалів до сіткового виду, при якому дані співвідносяться з вузлами мережі, що формують кінцеву множину об'єктів класифікації (в термінології описуваної технології – генеральну сукупність). Із цією метою для векторних матеріалів з використанням принципу ковзної околиці розраховуються спеціальні ознаки-характеристики, значення яких ставляться до комірок регулярної мережі. До них належать ознаки:

- такі, що розраховуються в ковзній околиці по значеннях одного векторного шару (наприклад, довжина (площа) об'єктів, що попадають усередину околиці, їхня концентрація на одиницю площі, кількість точок перетинання лінійних об'єктів, що переважають азимути їхнього простягання, відстані від вузла мережі до найближчого об'єкта, показники анізотропії й дисперсії лінеаментної мережі й ряд інших);

- такі, що обчислюються на основі аналізу просторового взаємозв'язку двох векторних шарів. Характеристики, що розраховуються при цьому, (наприклад, кількість перетинань геологічних границь і розривних порушень у межах ковзної околиці, співвідношення щільностей різноорієнтованих лінеаментів і т.п.) несуть різноманітну інформацію про структурно-тектонічні особливості території;

- такі, що розраховуються для майданних векторних об'єктів на основі їхніх топологічних характеристик, таких як сусідство, зв'язність,

перетинання й т.п., відбивають найбільш загальні властивості геологічної будови території;

- спеціальні характеристики мереж лінеаментів, що розраховуються як безпосередньо по виділених лінеаментах, так і по їхніх розах-діаграмах;

- і ряд інших, наведених на рис. 2.6.

У ході виконання робіт розроблені принципи побудови нової, **4-ої групи** ознак, заснованої на аналізі границь яскравості (тону) геозображень. У геологічній практиці виділення границь яскравості застосовується, в основному, для рішення задачі виявлення лінеаментів космічних знімків і матеріалів майданних геофізичних зйомок. Границі яскравості слугують вхідним матеріалом, «сировиною», для виділення лінеаментів і самостійно при рішенні прогностно-пошукових задач, як правило, не використовуються. Разом з тим границі яскравості несуть цінну інформацію про геологічну будову території, відбиваючи місце розташування й форму границь геологічних об'єктів і розривних порушень.

Встановлено, що карти щільності просторового розподілу границь яскравості й інших сіткових характеристик, які розраховуються на основі границь яскравості, мають достатню високу інформативність і можуть із успіхом застосовуватися для вирішення прогностно-пошукових задач.

Практична цінність ознак може бути оцінена декількома способами. Традиційними є оцінки формальної інформативності ознак, що визначають кількість геологічної інформації, яка міститься в них і є потенційно корисною для рішення конкретної задачі. На практиці інформативність оцінюється по кількості помилок класифікації, або, у загальному значенні, по величині втрат, що обчислюється певним чином.

Розрізняють індивідуальну інформативність, властиву окремій ознаці, і інформативність системи ознак. Система ознак вважається інформативною, якщо при заданих навчальній вибірці й вирішальному правилі вона дозволяє побудувати правило, що класифікує об'єкти з мінімальною величиною втрат. При такому підході до оцінки інформативності поняття корисності інформації, що є

таким, важко формалізується, зводиться до її здатності забезпечувати прийнятні значення помилок класифікації.

Разом з тим, як показує досвід, формально інформативна ознака може виявитися в дійсності абсолютно беззмисловою з геологічної точки зору, що досить часто відбувається при малих об'ємах навчальних вибірок. У зв'язку із цим пропонується поряд з поняттям геологічної інформативності (ГІ) оперувати поняттям геологічної змістовності (ГЗ) ознаки. Під геологічною інформативністю ознаки розуміється здатність ознаки забезпечувати формальне рішення задачі класифікації з мінімальними втратами; під геологічною змістовністю ознаки - міра тісноти її зв'язку з об'єктивно існуючими геологічними об'єктами, явищами й процесами; фактично ГЗ ознаки характеризує її здатність відбивати об'єктивно існуючу геологічну будову досліджуваної ділянки.

Технологія використовує один з багатьох можливих способів оцінки ГЗ ознак, заснований на їхньому порівнянні із цифровою геологічною моделлю 2-го типу (ЦГМ2), що містить сукупність вірогідно встановлених геологічних фактів. Шляхом застосування процедури растеризації ЦГМ2 переводиться у форму бінарної карти, де одиницям відповідають стратиграфічні й літологічні границі, контури інтрузивних утворень, розривні порушення й т.п. Оцінювана ознака шляхом застосування операції виділення границь яскравості також переводиться в бінарну форму. Далі аналізується конфігурація рисунку кожної з карт із використанням ковзної околиці розміром 3x3 комірки. У середині кожної околиці, у центрі якої знаходиться одиниця, може бути зустрінутий один з 256 варіантів розподілу нулів і одиниць. Для кожної карти будується гістограма частоти зустрічальності кожного з 256 можливих варіантів, після чого гістограми порівнюються низкою відомих способів (обчислення χ -квадрата, оцінка площі перетинання гістограм, кореляційний метод, відстань Бхаттачарія й т.п.). Отримані оцінки характеризують міру подібності ознаки й ЦГМ2. Очевидно, що занадто мала подібність із високою часткою ймовірності свідчить про низьку геологічну змістовність ознак, тому їхнє використання рекомендується обмежувати.

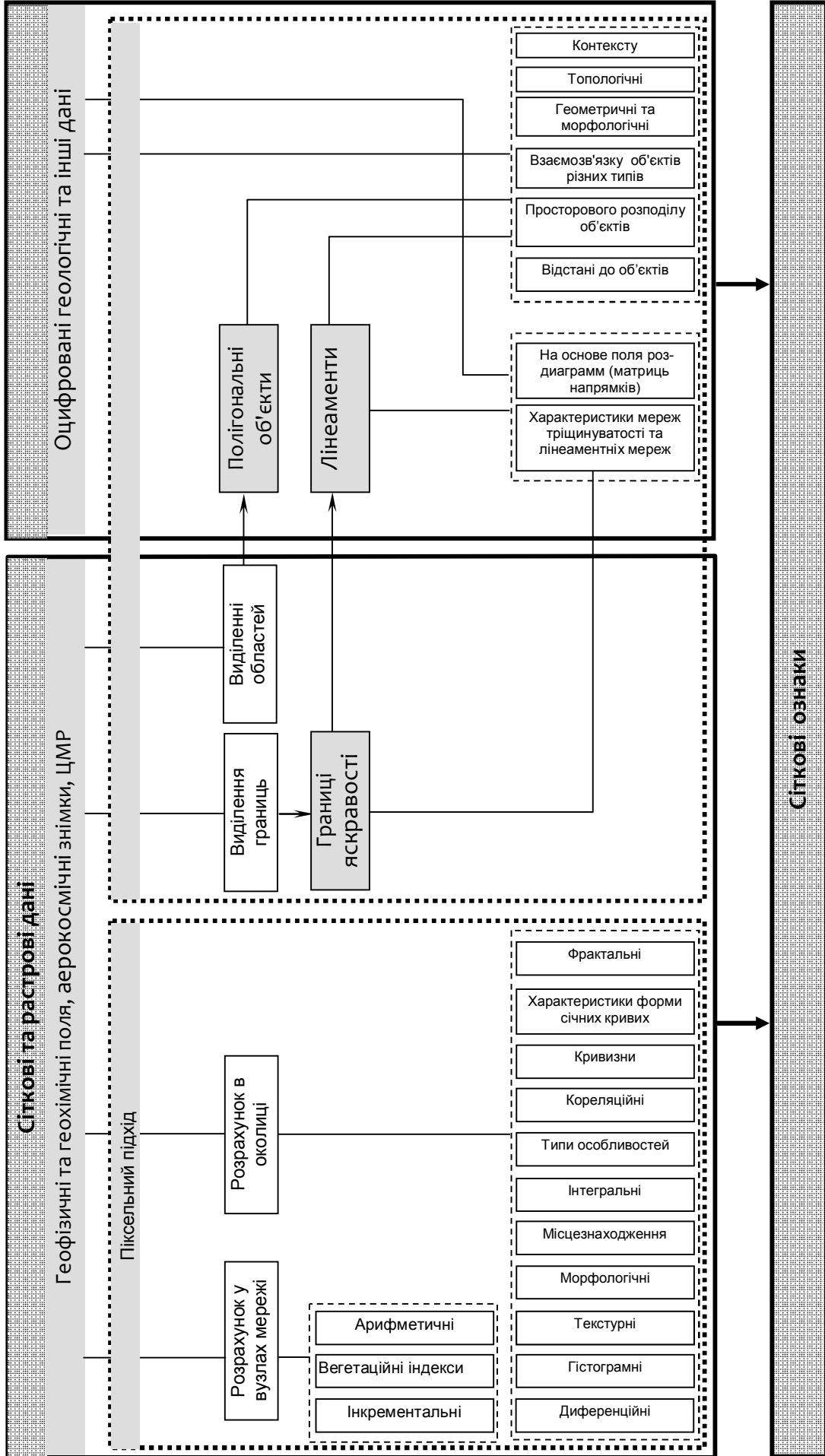


Рис. 2.6. Общя схема генерации признаков

2.2.2 Інтерактивне виділення лінеаментів

Лінеаментний аналіз, як вказувалося вище, є дієвим інструментом прогнозування скупчень вуглеводнів на території північного схилу ДДЗ. Це пов'язане із приуроченістю відомих нафтогазових об'єктів до розривних порушень і зон розущільнення земної кори, індикаторами яких, у свою чергу, є лінеаменти. Зони підвищеної щільності лінеаментів можуть розглядатися як ділянки підвищеної перспективності. Крім того, карти щільності лінеаментів можуть ефективно використовуватися поряд з іншими ознаками при рішенні прогнозно-пошукових задач методами інтелектуального аналізу геоданих, зокрема, із застосуванням методів класифікації з навчанням.

Виділення лінеаментів може провадитися по різних фізичних полях, топографічним поверхням (як по денному рельєфу, так і глибинним стратиграфічним і структурним горизонтам), а також по космічних знімках. Розвиток космічних технологій у сполученні з ростом обчислювальних можливостей комп'ютерної техніки зробили останні важливим джерелом даних для проведення геологічних досліджень.

У цей час існує цілий ряд спеціалізованих програмних комплексів для роботи з лінеаментами - WinLessa [6], ALINA [7], Lineament [8], РАПІД [9]. Автоматичне виділення лінеаментів (АВЛ) звичайно базується на попереднім виявленні перепадів (границь) яскравості вихідного зображення, проведеному за допомогою різних маскових алгоритмів, і наступному відборі протяжних лінійних фрагментів цих границь.

Удосконалювання методів АВЛ відбувається на тлі зниження інтересу до традиційного підходу до виділення лінеаментів, виконуваному дешифровщиком вручну по підложці, у якості якої використовується аналізований знімок. І хоча в цей час інтерактивне виділення лінеаментів (ІВЛ) реалізується на комп'ютері, його суть залишається колишньою - рішення про виділення або не виділення лінеаменту приймає людина.

Нижче аналізуються реальні можливості, переваги й недоліки автоматичного й інтерактивного виділення лінеаментів і дається ряд рекомендацій, що дозволяють поліпшити якість та вірогідність результатів лінеаментного аналізу. Для експериментального дослідження результатів АВЛ використовується найбільш відома й розвинена система лінеаментного аналізу WinLessa [6], розроблена під керівництвом О.О.Златопольського. Робота АВЛ і ІВЛ показана на прикладі демонстраційного знімка, що поставляється з WinLessa другої версії (рис. 2.7).

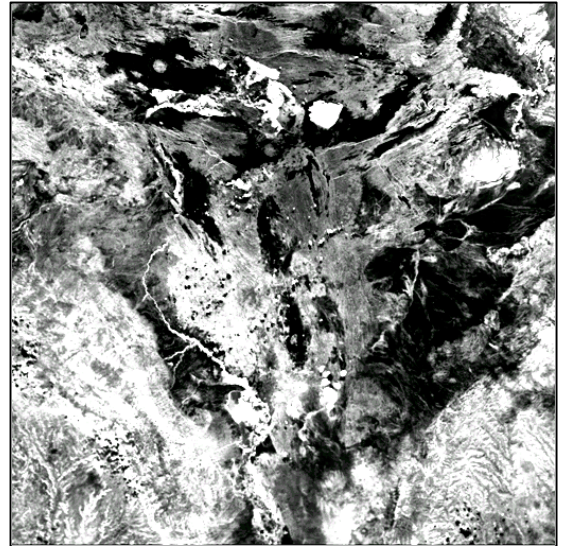


Рис. 2.7. Демонстраційний космічний знімок, що входить до складу WinLessa 2 (зменшений удвічі)

Переваги АВЛ, що зазвичай декларуються – це швидкість і простота виконання операції, а також об'єктивність одержуваних результатів. При цьому основні недоліки, які традиційно приписуються інтерактивному («ручному») підходу – це суб'єктивізм і необхідність високої кваліфікації дешифрувальника (чи, бажано, декількох) для одержання достовірних результатів.

Однак на практиці автоматичний підхід має ступінь суб'єктивізму аж ніяк не меншу: фахівець може впливати на результати виділення лінеаментів через вибір програмного забезпечення, конкретного алгоритму, методів попередньої обробки знімка, різноманітних параметрів і граничних значень. Одержувані результати можуть різко відрізнятися друг від друга (рис. 2.8), причому відмінності можуть бути значно більше, ніж у випадку інтерактивного виділення лінеаментів різними дешифровщиками. В остаточному підсумку, автоматично виділені лінеаменти повинні корегуватися в інтерактивному режимі для усунення техногенних об'єктів і

додавання ліній, не виділених комп'ютером, але при цьому очевидних для людини. У підсумку ступінь суб'єктивізму при автоматичному виділенні найчастіше порівняннн із властивому інтерактивному підходу, а одержувані результати, особливо в ситуації антропогенно-змінених ландшафтів, менш адекватні реальній ситуації.

Істотним недоліком автоматичного підходу є те, що він орієнтований на виділення окремих ліній, у той час як практично безперечним є факт угруповання лінеаментів у системи, що мають досить строгу витриманість по азимуту простягання й ознаки еквідистантності [10, 11]. На практиці лінеаменти різних систем перебувають у взаємодії – вони фрагментують один одного (дуже часто з горизонтальними зсувами), проявляють себе як бар'єри, що обмежують простягання інших лінеаментів або самі впираються в лінеаменти інших систем. Ці топологічні властивості лінеаментної мережі, що часто проявляються, жодним чином не використовуються сучасними методами й алгоритмами АВЛ, але легко можуть бути враховані фахівцем-геологом при роботі в інтерактивному режимі.

Сучасні методи автоматичного виділення лінеаментів (АВЛ) засновані на фіксації перепадів яскравості знімка. Чим більше цей перепад, тим більше впевнено виділяється лінеамент. Відповідно, навіть дуже протяжний лінеамент, якому відповідає слабкий перепад яскравості, може бути не зафіксований в автоматичному режимі. На практиці цьому намагаються протистояти вибором низьких граничних значень виділення границь і попереднім контрастуванням (або збільшенням різкості). Однак це веде до виділення значної кількості коротких границь, більшість із яких відповідають дрібним ландшафтним особливостям і не несуть суттєвої геологічної інформації.

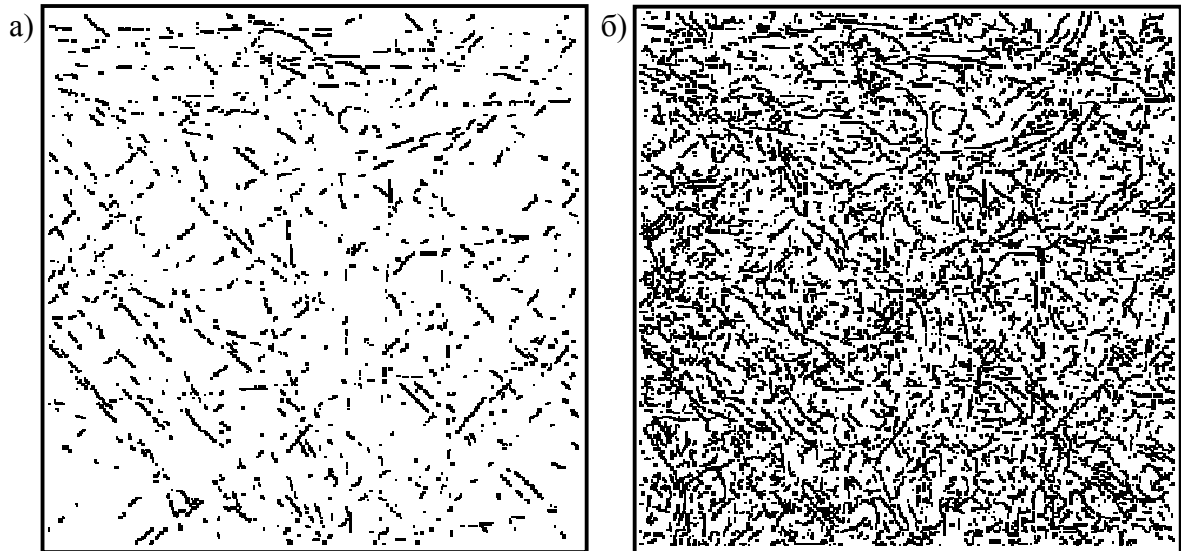


Рис. 2.8 Лінеamenti, автоматично виділені на знімку (рис. 2.7) системою WinLessa 2 при порогах 50 (а) і 20 (б)

Описана проблема легко вирішується в інтерактивному режимі досвідченим інтерпретатором, оскільки розпізнавальні здатності людського мозку при роботі із двовимірними зображеннями є дуже значними. Відомо, що мозок має здатність відповідати на нескінченну безліч станів зовнішнього середовища кінцевим числом реакцій. Це дозволяє йому легко зводити різноманітні форми прояву лінійних геологічних і ландшафтних структур на знімку до найпростішого графічного примітива - лінії.

Той факт, що алгоритми АВЛ засновані на виділенні границь яскравості, обумовлює й іншу проблему. Глобальна мережа лінементів (або близька до неї по своїй суті глобальна мережа тріщинуватості), на думку багатьох дослідників, існує повсюдно й досить близька до регулярної (хоча й порушена пізнішими тектонічними дислокаціями). Однак виявлення окремих лінементів залежить як від часу їхньої останньої активації, так і від інтенсивності денудаційних процесів. Навіть невеликий лінемент, що є активним у результаті, наприклад, прояву сучасної сейсмічності, на знімку відбивається більше істотним перепадом яскравості в порівнянні з лінеаментами навіть найвищих порядків, але пережившими свою останню тектонічну активацію в далекій давнині. Це приводить до того, що АВЛ дає

геологічно малозмістовну картину, виділяючи, у першу чергу, лінеamenti, по яких розвиваються сучасні ярово-балкова й гідрографічна системи. Таким чином, побудовану мережу можна вважати деякою випадковою реалізацією істинної мережі лінеаментів

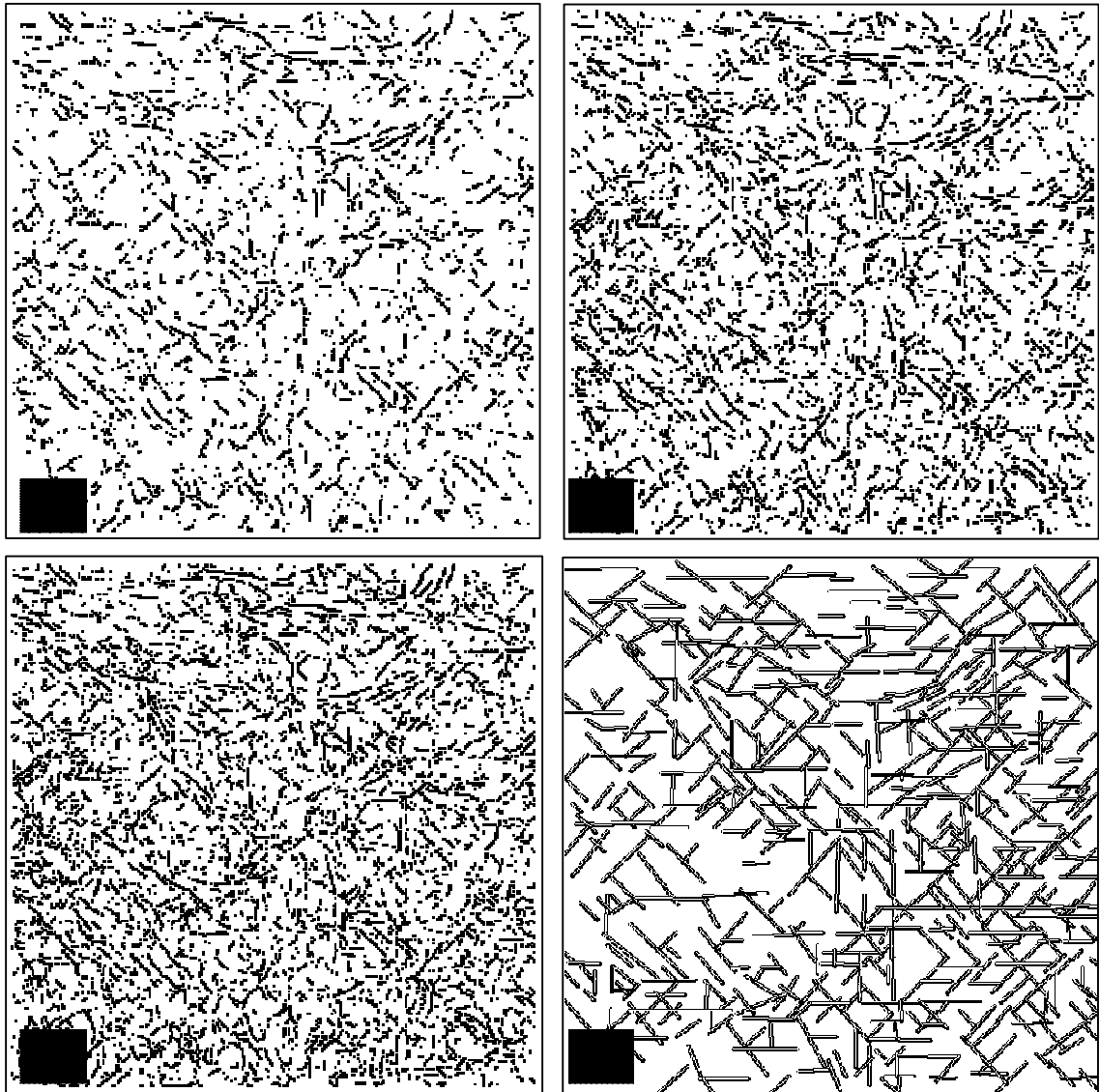


Рис. 2.9. Результати автоматичного виділення лінеаментів системою WinLessa при порогах 40 (а), 30 (б) і 25 (в), і інтерактивного виділення з використанням запропонованої методики (г)

ІВЛ дозволяє використовувати безліч інших критеріїв фіксації лінеаментів крім величини перепаду яскравості, і брати до уваги, у тому числі, границі зон з різним характером прояву того або іншого явища або характеристики, текстурні особливості ландшафту, а також загальні властивості лінеаментної мережі (наприклад, її ієрархічність або

комірчастість), типові топологічні відносини між лінеаментами різних напрямків і багато чого іншого.

На рисунку 2.9 наведені результати побудови лінеаментної мережі на тестовій ділянці з використання АВЛ і ІВЛ. На рисунках а, б та в показані лінеаменти, виділені при різних граничних значеннях. Очевидно, що вибір «найкращого» з них сам по собі є серйозним завданням, що вимагає певної кваліфікації й залучення суб'єктивних суджень і уявлень експерта-інтерпретатора.

Але жоден із представлених варіантів АВЛ не дає тій чіткості й упорядкованості лінеаментної мережі, як наведений на рисунку 2.9г. Чим більше об'єктів виділяється методом АВЛ, тим більше походить побудована лінеаментна мережа на сукупність звичайних границь яскравості знімка, що відбивають поверхневий ландшафт, тим слабкіше проявляється її природна комірчастість, тим менше геологічна цінність. Слід зазначити, що подібні результати були отримані на багатьох інших знімках з використанням різних модифікацій АВЛ.

Разом з тим, в автоматичному режимі на представленому знімку виділені усі найбільш явно виявлені лінійні структури, а загальний рисунок поля лінеаментів і основні азимути їхнього простягання в цілому адекватні дійсності. Це дозволяє використовувати результати АВЛ у якості «першого наближення» для проведення експрес-оцінки досліджуваних ділянок. Однак рішення серйозних геологічних задач методами лінеаментного аналізу не може базуватися на АВЛ, як по міркуваннях, висловлених вище, так і з урахуванням антропогенної змінності ландшафтів, властивої, зокрема, більшості частині території України.

Тому автоматичне виділення обов'язково повинне підкріплюватися інтерактивним, що використовує ГІС-інструменти, знання й досвід геолога-дешифрувальника й колосальні розпізнавальні можливості людського мозку.

Рекомендації з виконання ІВЛ. Практичний досвід ІВЛ на різноманітних знімках різних ділянок Земної кулі дозволив сформувавши ряд рекомендацій, що дозволяють досягати достовірних результатів лінеаментного аналізу:

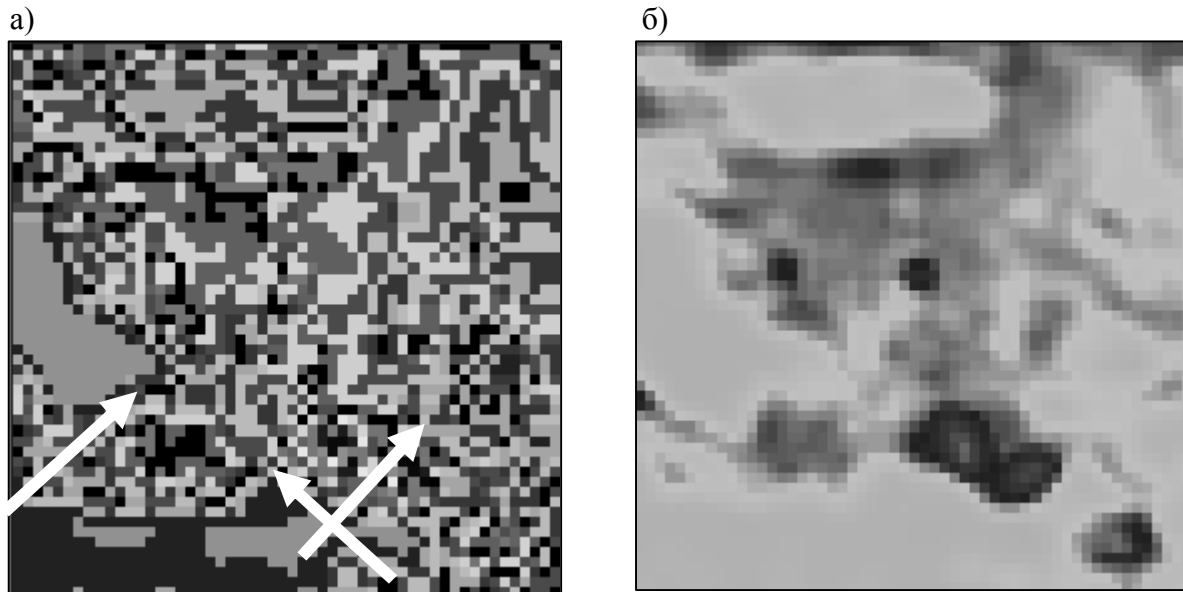
1. Ефективним способом виявлення лінійних елементів знімка є його псевдоколірне кодування, при якому кожному діапазону яскравості привласнюється значення кольору, отримане випадковим образом. У відмінності від колірних палітр, у яких близьким значенням яскравості відповідають близькі кольори, палітра, сформована за допомогою випадкового вибору квітів, підкреслює навіть незначні перепади яскравості, що особливо корисне у випадках слабо розчленованого рельєфу й потужного осадового чохла.

2. Для більше впевненої побудови лінеаментної мережі рекомендується виконувати виділення лінеаментів при різній кількості інтервалів яскравості (і, відповідно, кольорів, якими кодується знімок) - 256, 128, 64, 32, 16, 8. У випадку слабкоконтрастного ландшафту, як свідчить практичний досвід, використання малої кількості інтервалів найчастіше є кращим (рис. 2.10). У цілому, варіювання параметрами візуалізації є досить корисним прийомом при роботі з геозображеннями [12].

3. Попередня обробка знімка може привести до поліпшення результатів як ІВЛ, так і АВЛ. Рекомендується використання лише тих процедур, які не базуються на обчисленнях у ковзному або стрибаючому вікні квадратної форми, тому що це приводить до посилення діагональних складових зображення й, як наслідок, виникнення ризику виділення неіснуючих лінеаментів з азимутами 45 і 135 градусів. Оптимальна форма вікна – коло. Доцільно проводити обробку при вікнах різних розмірів, що дозволяє вивчати знімок при різних ступенях його генералізації.

4. У числі перетворень, що рекомендуються, варто згадати операції підвищення контрастності, підвищення різкості за допомогою масок (не

квадратної форми), ряд інтегральних і текстурних перетворень [9], виконуваних у круглому вікні.



⇒ Приклади лінійних структур, що проявляються на знімку після псевдоколірного кодування

Рис. 2.10. Фрагмент вихідного зображення:

а) у сірій палітрі 256-кольоровій палітрі; б) після псевдоколірного кодування в 20-кольоровій палітрі

5. Наявність декількох спектральних каналів знімка також дозволяє підвищити якість побудови лінеаментної мережі [13]. Доцільно робити виділення із залученням усіх (або декількох найбільш характерних) каналів, тому що лінеаменти, що не фіксуються по одному каналі, можуть виділятися на іншому. Може бути корисний і розрахунок статистичних характеристик (оцінок середнього, дисперсії, ексцесу й т.п.) для пікселів знімка, кожний з яких представляється вектором значень яскравості різних каналів. З деяких ситуацій гарні результати може дати обрахунок вегетаційних індексів, таких як NDVI, RVI і інших. Великий інтерес представляють головні компоненти багатоканальних знімків, отримані відповідним методом [14].

6. В остаточному підсумку, візуальному аналізу повинне піддаватися 5-7 зображень, що найбільш добре підкреслюють лінеаментну структуру земної поверхні. При роботі з кожним із зображень актуальні рекомендації, наведені в пунктах 1 і 2.

Як лінеаменти доцільно виділяти тільки ті лінійні структури, які одночасно впевнено виділяються хоча б на 2-3х зображеннях.

2.3 Прогноз на основі методів інтелектуального аналізу геоданих

Прогноз із використанням геоінформаційної технології заснований на виявленні різноманітних зв'язків між відомими нафтогазовими об'єктами й ознаками, між парами й групами ознак, групами геологічних об'єктів, з наступним застосуванням виявлених зв'язків для прогнозування невідомих фактів і продукування нових знань про нафтогазоносність досліджуваної території.

Технологія дозволяє автоматично виявляти різноманітні зв'язки, що існують між геологічним середовищем, її структурними одиницями та геоданими, що їх описують. Установлення зв'язків базується на обробці величезних об'ємів даних, тому без використання спеціальних методів виконати його в повному обсязі досить важко.

Оцінка виявлених зв'язків здійснюється стандартними методами й зазвичай зводиться до оцінки їхньої вірогідності, встановленню ступеня універсальності і відтворюваності одержуваних на їхній основі результатів. Стійкі, істотні й універсальні зв'язки трактуються як закономірності.

Формування гіпотез виконується експертом-геологом на основі його уявлень про причини виникнення й / або існування виявлених закономірностей. Остаточна оцінка цінності гіпотези може бути проведена тільки після практичної перевірки, об'єм якої залежить від передбачуваного ступеня універсальності гіпотези, після чого вона або відкидається, або переводиться в категорію знання.

Типи зв'язків. Технологія орієнтована, у першу чергу, на виявлення зв'язків декількох видів на основі низки методів інтелектуального аналізу геоданих.

Зв'язки можуть бути класифіковані:

а) по виду інформаційних одиниць ІПМ, що зв'язуються:

- *група об'єктів – група об'єктів* (встановлення просторових зв'язків між групами різнотипних геологічних об'єктів, наприклад, розламами й рудними тілами);
- *ознака(-и) – група об'єктів* (встановлення зв'язків між геологічними об'єктами і геоданими, що їх описують);
- *ознака(-и) – ознака(-и)* (встановлення зв'язків між різними наборами геоданих);
- *прогноз – група об'єктів* (встановлення просторових зв'язків між результатами прогнозування й відомими геологічними об'єктами);
- *прогноз – ознака(-и)* (встановлення зв'язків між результатами прогнозування й геоданими);
- *ознака(-и)* (пошук внутрішніх зв'язків і закономірностей на основі аналізу ознаки або групи ознак);
- *прогноз(-и)* (пошук внутрішніх зв'язків і закономірностей на основі аналізу прогнозу або групи прогнозів);
- *група об'єктів* (пошук просторових і атрибутивних зв'язків в усередині групи однотипних геологічних об'єктів);

б) по характеру зв'язку:

- *просторовий* (на основі просторових взаємин об'єктів і/або ознак), поділювана на:
 - метричну;
 - топологічну.
- *атрибутивний* (на основі властивостей об'єктів або значень ознак)

в) по обсягу аналізованих даних:

- на основі *генеральної сукупності* (для даних по всій досліджуваній території);
- *по вибірці* (еталонній, навчальній, контрольній, для об'єктів кластера або класу).

г) по кількості аналізованих ознак:

- *безознакові*
 - група об'єктів - група об'єктів;
 - групи об'єктів;
- *одиначні*
 - ознака;
 - ознака - група об'єктів;
 - ознака - прогноз;
- *парні*
 - ознака - ознака;
- *групові*
 - група ознак;
 - група ознак - група об'єктів;
 - група ознак - група ознак;
 - група ознак - прогноз.

д) по виду математичного апарата, використовуваного для їхнього виявлення. Виділяються зв'язки, отримані на основі:

- *Секвенційного аналізу*, ґрунтованого на виявленні просторових зв'язків (ланцюжків) серед об'єктів одного або декількох типів, або між об'єктами й геоданими.
- *Пошуку асоціацій*, що базується на виявленні спільної зустрічальності (асоціацій) об'єктів різних типів або погодженому поводженні геоданих, що їх описують.
- *Кластеризації*, ґрунтованої на встановленні зв'язків між об'єктами, що попадають у кластери.
- *Класифікації*, ґрунтованої на виявленні зв'язку між групою ознак і геологічних об'єктів за допомогою побудови діагностуючих наборів та вирішальних правил.

Прогнозування можна трактувати як процес інтелектуального аналізу геоданих, що включає:

А) пошук серед значень ознак стійких, геологічно змістовних зв'язків, властивих тільки об'єктам конкретного класу й не характерних для об'єктів інших класів;

Б) перетворення знайдених зв'язків у форму вирішальних правил класифікації;

В) застосування вирішальних правил для оцінки значень прогнозованого параметра або приналежності об'єктів до класів.

Для кожного набору даних може бути виділена множина зв'язків, що визначає можливість одержання множини альтернативних прогнозів.

Практично будь-яка виявлена в даних закономірність може бути основою для прогнозу. У багатьох ситуаціях справедливо й зворотне - прогноз може бути використаний для пошуку нових закономірностей.

Виділення різноманітних зв'язків у більших об'ємах геоданих виконується з використанням наведених нижче методів інтелектуального аналізу геоданих.

Секвенційний аналіз. Методи секвенційного аналізу є частиною апарата Data Mining і були розроблені, у першу чергу, для цілей маркетингових досліджень. Основна мета їхнього застосування - виявлення стійких послідовностей виникнення деяких подій (у термінах Data Mining - транзакцій), що утворюють ланцюжки. На основі виявлених ланцюжків формуються закономірності, що звичайно мають імовірнісний характер і що дозволяють передбачати виникнення подій у майбутньому.

У теорії Data Mining подібні закономірності звичайно формуються в наступному виді:

- після виникнення події X через відрізок часу t з імовірністю p відбувається подія Y (наприклад, «після придбання нової квартири протягом двох тижнів з імовірністю 0,6 відбувається придбання нового холодильника, а протягом двох місяців з імовірністю 0,5 – нового телевізора);

- проміжок між однотипними подіями X_1, X_2, \dots, X_L с імовірністю p укладається в часовий інтервал $t_1..t_2$ (наприклад, «проміжок між покупками нових автомобілів з імовірністю 0,65 становить 5-7 років»).

Апарат секвенційного аналізу може бути безпосередньо використаний для рішення ряду геологічних завдань, пов'язаних з аналізом тимчасових послідовностей, наприклад, при прогнозуванні землетрусів на основі виділення їхніх провісників.

Однак значно більш широке поле для застосування апарату секвенційного аналізу відкривається при переході з часової області в просторову, який не представляє принципових труднощів, за винятком необхідності проведення обчислень не в одомірному (час), а двох-тривимірному географічному просторі. Крім того, варто враховувати складність оцінки ймовірностей в умовах обмежених розмірів досліджуваних ділянок, і, як наслідок, розташованих у їхніх межах геологічних об'єктів.

В контексті просторових прогнозно-пошукових геологічних задач закономірності, що виявляються методами секвенційного аналізу, можуть формулюватися в такий спосіб:

- на відстані $d_1..d_2$ від об'єкта X в m випадках з M перебуває об'єкт Y (наприклад, в 5-ти випадках з 10-ти на відстані 300-500 м від вузла перетинання розламів перебуває золоторудне тіло; або – в 5 випадках з 14 у межах 50 м від локального мінімуму гравітаційного поля знаходиться лінеамент субширотного напрямку й т.п.)

- однотипні об'єкти X_1, X_2, \dots, X_L в m випадках з M перебувають на відстані $d_1..d_2$ друг від друга (наприклад, кварцові жили північно-східного азимута простягання в 8 випадках з 12 перебувають на відстані 150-200 м один від одного).

Можливе знаходження й більше складних просторових закономірностей, що враховують ієрархічну структуру геологічної будови земної кори

(наприклад, виявлення періодичності чергування односпрямованих лінійних структур різних рангів).

Слід зазначити, що в такій постановці задача секвенційного аналізу близька до задачі геоінформаційного аналізу. Остання звичайно вирішується з використанням нескладних картометричних операцій або шляхом візуального аналізу. Однак у геологічній практиці такі способи виявлення просторових закономірностей частіше виявляються недійовими. Геологічні матеріали практично завжди неповні, а геолого-геофізичні й аерокосмічні зйомки мають обмежену глибинність і роздільну здатність та ускладнені різноманітними перешкодами, а тому подібні закономірності зазвичай неочевидні й можуть бути віднесені до прихованих. Для їхнього виявлення необхідне застосування спеціальних математичних методів секвенційного аналізу, адаптованих до рішення просторових завдань.

Для реалізації секвенційного аналізу створений ряд алгоритмів, що дозволяють аналізувати векторні (ЦГМ2) і сіткові (ознаки) дані для виявлення закономірностей чергування тих або інших просторових об'єктів і побудови їхній основі конкретних вирішальних правил (див. далі).

Окремим випадком секвенційного аналізу є **аналіз асоціацій** (інакше – пошук асоціацій), заснований на виділенні пар або груп одночасно виникаючих подій, або, у контексті прогнозно-пошукових робіт, таких об'єктів і структур, що просторово збігаються. Фактично, задача пошуку асоціацій зводиться до задачі секвенційного аналізу при $d_1=d_2=0$. Технологія використовує ряд алгоритмів, заснованих на переборі, що дозволяють знаходити асоціації між значеннями пар або груп ознак, а також між значеннями ознак і геологічних об'єктів.

Крім того, що виявлені в результаті застосування апаратів секвенційного аналізу й пошуку асоціацій закономірності можуть мати самостійне наукове й практичне значення, можливо їхнє використання у якості вирішальних правил для виконання прогнозу методами класифікації.

Кластеризація заснована на виявленні, в умовах відсутності навчальних вибірок, певної спільності властивостей у різних об'єктів, що дозволяє групувати об'єкти в деякі підмножини – кластери. Залежно від наявності й характеру апріорних відомостей про структуру й кількість шуканих кластерів і від кінцевих прикладних цілей використовується одна із трьох основних складових частин математичного апарата кластеризації:

1) методи розщеплення сумішей імовірнісних розподілів, коли кожний клас інтерпретується як параметрично задана унімодальна генеральна сукупність при невідомому значенні параметра, що її визначає, а об'єкти, що кластеризуються - як вибірка із суміші таких генеральних сукупностей. Варто відмітити, що геодані досить рідко мають властивість унімодальності, тому можливість застосування цих методів у геологічній практиці істотно обмежена;

2) класифікаційні процедури ієрархічного типу, основна мета яких - одержання наочного подання про структуру досліджуваної сукупності об'єктів, наприклад, у вигляді дендрограми;

3) методи власне автоматичної кластеризації, які припускають, що дослідник не має підстав для якої-небудь параметризації вхідної моделі. Даний підхід є найбільш універсальним, що визначає його провідну роль при рішенні прогностно-пошукових геологічних задач.

У рамках представленої технології процедури автоматичної кластеризації використовуються як у якості допоміжних (для поділу НВ на підкласи й уточнення їхньої структури), так і при вирішенні конкретних задач, наприклад, районування досліджуваної території за комплексом геоданих.

Класифікація з навчанням є найбільш універсальним методом вирішення прогностно-пошукових задач. Виконується на основі ПМ, яка включає НВ, КВ, ДН і ВП, що будуються в процесі формування ОМ1 і ОМ2, а також критерії формальної якості й геологічної змістовності прогнозів.

Класифікація дозволяє на основі деякого вирішального правила віднести об'єкти генеральної сукупності до одного із взаємовиключних класів (задача категорійного прогнозу або розпізнавання), або оцінити ступінь приналежності об'єктів до деякого класу в припущенні, що об'єкт може належати одночасно одному чи декільком класам (задача нечіткого прогнозу або ранжирування). Прогнози подаються у вигляді карт, що відбивають приналежність об'єктів генеральної сукупності класам або ступінь приналежності об'єктів одному із класів.

Особливу роль при виконанні класифікації грають вирішальні правила, що задають спосіб визначення приналежності об'єктів класифікації певним класам. ВП, використовувані при класифікації з навчанням, будуються на основі декількох підходів, серед яких виділяються детерміністський, статистичний, нейромережевий та логічний.

Детерміністський підхід ґрунтується на припущенні про неперетинання класів. Для оцінки близькості просторових об'єктів до кожного із класів виконується формування матриці відстаней, і класифікації виконується відповідності із близькістю об'єктів до класів.

Статистичний підхід до побудови вирішальних правил припускає можливість перетинання класів і використовує параметричні й непараметричні методи оцінки функції розподілу об'єктів у класах. Параметричні методи використовують задані параметри розподілу класу в ознаковому просторі; непараметричні застосовують базисні функції й функції ядра для оцінки щільності розподілу.

Нейромережевий підхід базується на теорії штучний нейронних мереж. Вирішальні правила будуються на основі мереж різної конфігурації (перцептрон Розенблатта, рекурентна мережа Елмана, мережа радіальних базисних функцій і ін.). Спочатку проводиться навчання мережі (що зазвичай полягає в зміні функції активації нейронів) на сукупності об'єктів НВ, а потім мережа використовується для класифікації об'єктів генеральної сукупності.

Логічний підхід використовується при роботі з бінарними даними, що припускає попередню бінарізацію ознак. Вирішальне правило являє собою набір кон'юнкцій, що будується шляхом підрахунку комбінацій бінарних даних, які описують об'єкти НВ.

Оцінка якості прогнозу, виконаного шляхом застосування певного вирішального правила класифікації, містить у собі обчислення показників декількох типів:

- формальної якості (ФЯ), заснованих на порівнянні отриманих результатів з геологічними фактами, формалізованими у вигляді контрольних вибірок. До таких показників ставляться помилки 1-го й 2-го роду, показники Брайєра, Вудалла, міри майстерності, коефіцієнт ризику прогнозів, сферичний показник, інформаційний показник якості й ряд інших. Ефективність оцінок ФЯ звичайно обмежена малими об'ємами КВ і фактично їхнім точковим характером, що не дозволяє забезпечити статистичну значимість одержуваних оцінок;

- геологічної змістовності (ГЗ) прогнозів, заснованих на порівнянні останніх із ЦГМ2. Оцінки ГЗ відбивають тісноту зв'язку прогнозу з об'єктивно існуючими геологічними об'єктами, явищами й процесами й обчислюються аналогічно ГЗ ознак, як описано вище.

Важливим емпіричним показником якості є відсоток території, віднесений у результаті класифікації до потенційно перспективного на виявлення цільових об'єктів або контролюючих їхніх структур. Він не повинен істотно відрізнятись від експертної оцінки площі, що покривається проекціями цільових об'єктів або структур.

Практична можливість застосування різних вирішальних правил, у тому числі, побудованих на основі виявлених просторових або інших зв'язків і закономірностей, порушує питання вибору найкращого з них або узгодження (синтезу) декількох прогнозів для одержання єдиного рішення.

Підхід, заснований на виділенні одного «найкращого» прогнозу, може бути реалізований декількома способами.

А. Вибір найкращого прогнозу на основі знань, досвіду й інтуїції експерта. Незважаючи на суб'єктивізм цього способу, на практиці найчастіше саме він є основним. Його перевагами є можливість швидкого й ефективного обліку безлічі факторів, найчастіше таких, що важко формалізуються та зовні суперечливих. Недоліком є дуже високі вимоги до кваліфікації експерта, а також неминучий вплив суб'єктивізму - зазвичай вибір того або іншого прогнозу робиться під впливом уже сформованих уявлень про будову території, розподіл цільових об'єктів і т.п.

Б. Вибір на основі показників ФЯ й ГЗ прогнозів. Задача вибору «найкращого» прогнозу зводиться до обчислення ряду показників для кожного виконаного прогнозу й вибору того з них, що забезпечує оптимальне (мінімальне або максимальне) значення використовуваного показника, або дає найкращі результати для групи показників. Обчислення більшості показників вимагає наявності контрольної вибірки.

В. Вибір на основі аналізу навчальних вибірок інших класів об'єктів. У прогнозно-пошуковій практиці навчальні вибірки, що представляють однотипні геологічні об'єкти або явища (наприклад, золоторудні тіла), рідко складають єдиний клас і найчастіше розбиті на кілька класів. Таким чином, класифікація послідовно проводиться для окремих «перспективних» класів (2-х чи більше), елементи яких представляють близькі за своєю суттю об'єкти або явища. Це дає можливість використовувати об'єкти, що входять в інші НВ, у якості контрольних. Влучення об'єктів інших НВ у виділювані перспективні контури, побічно свідчать про вірогідність прогнозу; зворотне ж говорить лише про далекість об'єктів поточного класу від інших в ОП.

Недолік підходу, заснованого на виборі одного з декількох прогнозів, полягає у втраті більшої частини одержуваної інформації, а також підвищенні ризику недостовірного прогнозу, що може відбутися у випадку, коли прогноз, найкращий з погляду одних критеріїв якості, може не бути таким за іншими.

Тож, набуває актуальності питання узгодження (синтезу) прогнозів, отриманих різними методами (а також при використанні різних метрик, що навчають вибірок, ознакових просторів і т.п.). Узгодження прогнозів може бути реалізовано в такі способи.

А. Узгодження прогнозів шляхом кластеризації. Об'єднання результатів ранжирування може бути виконане шляхом кластеризації прогнозних карт із використанням практично будь-якого відомого методу. Одержувана карта класів може бути використана для одержання категорійного прогнозу. Об'єкти генеральної сукупності, що потрапили в той же кластер, що й об'єкти відповідної навчальної вибірки, визнаються перспективними.

Б. Узгодження прогнозів методом головних компонентів. При наявності декількох альтернативних прогнозів виникає необхідність зведення їх до одного, узагальненого, при умові мінімальної втраті інформації. Дане завдання може бути вирішене з використанням методу головних компонентів, що є одним з основних способів зменшення розмірності даних, що забезпечують при цьому втрату мінімальної кількості інформації. У якості результуючого прогнозу виступає перший головний компонент, що максимізує вибіркочну дисперсію уздовж першої координати. Внесок у дисперсію першого компонента може використовуватися як критерій погодженості прогнозів і надійності одержуваного результату: чим вище внесок у дисперсію, тим ближче між собою окремі прогнози, і тем надійніше одержуваний результат. Вірно й зворотне - низьке значення внеску свідчить про неузгодженість отриманих прогнозів і, відповідно, про досить низку їхньої надійності.

На підставі отриманих оцінок ГЗ і ФЯ прогнозів і виявлених закономірностей приймається рішення або про перехід до етапу формулювання висновків і рекомендацій, або про повторення досліджень (з використанням іншого ПГП або із залученням додаткових геоданих).

Отримані прогнози, являючись складовою частиною ОМЗ, піддаються формальному й неформальному аналізу, метою якого є їхня геологічна

інтерпретація. Для полегшення цього процесу виконується пошук різноманітних зв'язків між прогнозами, а також вихідними геоданими й відомими геологічними фактами. Пошук виконується з використанням методів секвенційного аналізу, пошуку асоціацій, кореляційного й регресійного аналізу.

Виявлення й аналіз винятків. Всі перераховані вище методи витягнення нових знань засновані на виявленні й використанні певних зв'язків і закономірностей між геоданими й геологічними фактами. Існує і принципово інший підхід, що базується на виділенні не закономірностей, а певних винятків в аналізованих даних.

Аналіз винятків (відхилень, аномалій) припускає виявлення подій, об'єктів або їхніх окремих характеристик, що найбільш відрізняються від загальної множини й нехарактерних для досліджуваної території або набору даних (у термінології Data Mining – *нехарактерних шаблонів*).

Рішення прогнозно-пошукових завдань на основі виявлення винятків реалізує відомий у геології «аномалійний» принцип, заснований на припущенні, що «корисні» об'єкти приурочені до ділянок земної кори, що мають певну «винятковістю», не характерну для території в цілому. Теоретичні й методологічні основи аномалійного підходу розвинені в працях наукових шкіл Ю.А.Вороніна й В.В.Богацького.

При рішенні прогнозно-пошукових геологічних задач мають значення наступні види винятків:

- комплексні аномалії (що виявляються за комплексом геоданих), які представляють ділянки, нехарактерні для досліджуваної території;
- об'єкти класифікації (комірки мережі, що покриває досліджувану територію або об'єкти навчальних вибірок), які: а) не попадають у кластери; б) попадають у різні кластери при використанні декількох різних методів кластеризації; в) утворюють маленькі за об'ємом кластери;
- ділянки з аномально складною геологічною будовою, відбитою на геологічних картах або в геоданих;

- ділянки, що характеризуються нетиповою текстурою й/або структурою фізичних полів, що їх описують;

Пропонована технологія використовує ряд методів і алгоритмів, що дозволяють виділяти всі перераховані методи винятків.

Виявлені винятки (аномальні ділянки) можуть бути а) рекомендовані як об'єкти, що вимагають додаткового вивчення або б) використані як еталони для пошуку подібних за властивостями ділянок.

Таким чином, геоінформаційна технологія спрямована на виявлення різноманітних зв'язків, що існують між геологічним середовищем, її структурними одиницями і геоданими, що їх описують. Виявлені зв'язки дозволяють формувати вирішальні правила класифікації, використовувані для вирішення прогнозно-пошукових задач.

Основними методами пошуку зв'язків є кластеризація й класифікація з навчанням, а також просторові модифікації секвенційного аналізу й пошуку асоціацій.

Найбільш універсальним методом рішення прогнозно-пошукових задач є класифікація з навчанням, виконувана на основі ПМ, що включає НВ, КВ, ДН і ВП та критерії формальної якості й геологічної змістовності прогнозів.

Описані вище інтегральні прогнозні моделі й методи інтелектуального аналізу геоданих використані для прогнозування нових скупчень вуглеводнів промислового значення в межах північного схилу ДДЗ.

3 ПРОГНОЗ ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ФУНДАМЕНТУ ПІВНІЧНОГО БОРТА ДДЗ НА ВИЯВЛЕННЯ СКУПЧЕНЬ ВУГЛЕВОДНІВ

Прогнозування вуглеводневих структур промислового значення в кристалічному фундаменті північного борту ДДЗ виконується в 2 етапи. На першому в межах території розміром 310x190 км виконується дрібномасштабне прогнозування масштабу 1:200000 з метою виділення найбільш перспективних ділянок меншого розміру. На другому етапі в межах виділених ділянок виконується детальний прогноз і оцінка вуглеводневих покладів з використанням геолого-геофізичних і аерокосмічних матеріалів масштабу 1:50000.

На першому етапі в якості вихідних даних застосовуються: геологічні схеми й карта гравітаційного поля Vz масштабу 1:200000, дані про розташування 26-ти свердловин, у яких були отримані притоки нафти з фундаменту, цифрова модель рельєфу денний (топографічної) поверхні масштабу 1:200000, а також теплові космічні знімки MODIS с просторовим розрізненням 1000 м.

На другому етапі застосовуються матеріали гравітаційних зйомок масштабу 1:50000, цифрова модель рельєфу, побудована по даним космічного радарного знімка SRTM, і багатоканальні знімки Landsat-TM з розрізненням 30 м.

Роботи виконувалися з використанням спеціалізованої геоінформаційної системи, розробленої співробітниками Державного ВНЗ «НГУ» [15].

3.1 Виділення ділянок для прогнозування вуглеводневих структур промислового значення

Досліджувана територія охоплює:

1) північний схил ДДЗ, що характеризується фундаментом, який залягає моноклінально і плавно опускається з півночі на південь, де в районі крайового регіонального порушення досягає глибини 2, 5-3,0 км;

2) частина території Донецького складчастого спорудження, на території якого відома низка великих нафтогазових покладів, у тому числі, розташованих у фундаменті. Існують припущення, засновані на результатах розвідницького буріння, про можливе перетікання газу із ДДЗ в товщу Донецького складчастого спорудження, що може свідчити про наявність там досить великих покладів;

3) невелику частину південного схилу ДДЗ;

4) фрагмент центральної частини ДДЗ, що є найбільшою нафтогазовою провінцією України, на території якої відома велика кількість газоконденсатних родовищ, що перебувають, в основному, у надфундаментній товщі.

Положення ділянки показане на рис. 3.1. Її геологічна будова характеризується структурно-тектонічною схемою, наведеної на рис. 3.2. Місця розташування свердловин із зафіксованими проявами нафти в кристалічному фундаменті, показані на рис. 3.3.

На рисунку 3.4 наведена карта гравітаційного поля V_z досліджуваної території. Зйомки виконані по мережі 2x2 км. На рис. 3.5 показана візуалізація гравітаційного поля у вигляді тривимірної поверхні.

Цифрова сіткова модель рельєфу масштабу 1:200000 ілюструється рисунком 3.6.

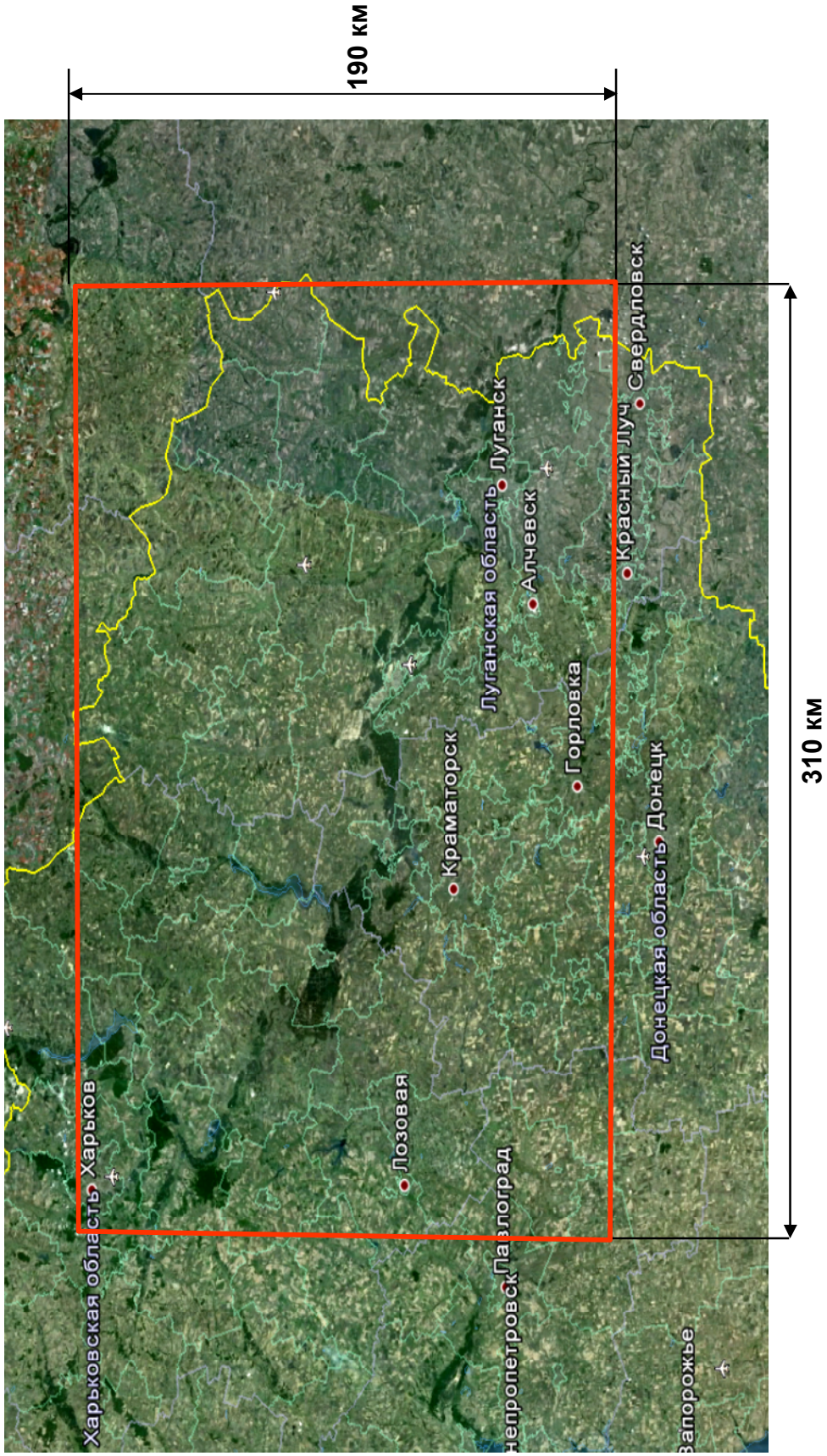
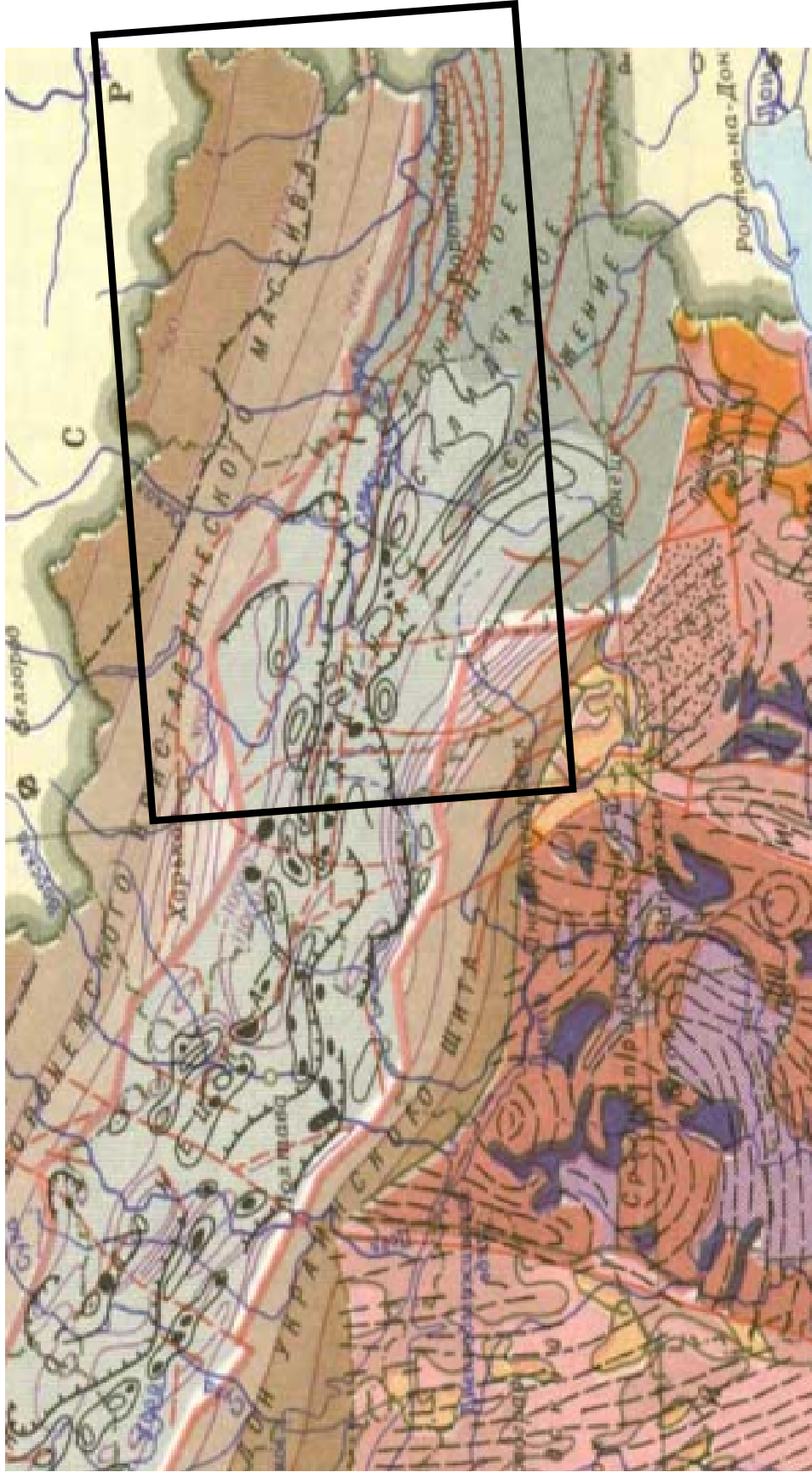


Рис. 3.1 Положення досліджуваної території



□ Досліджувана ділянка

Рис. 3.2 Структурно-тектонічна схема ДДЗ

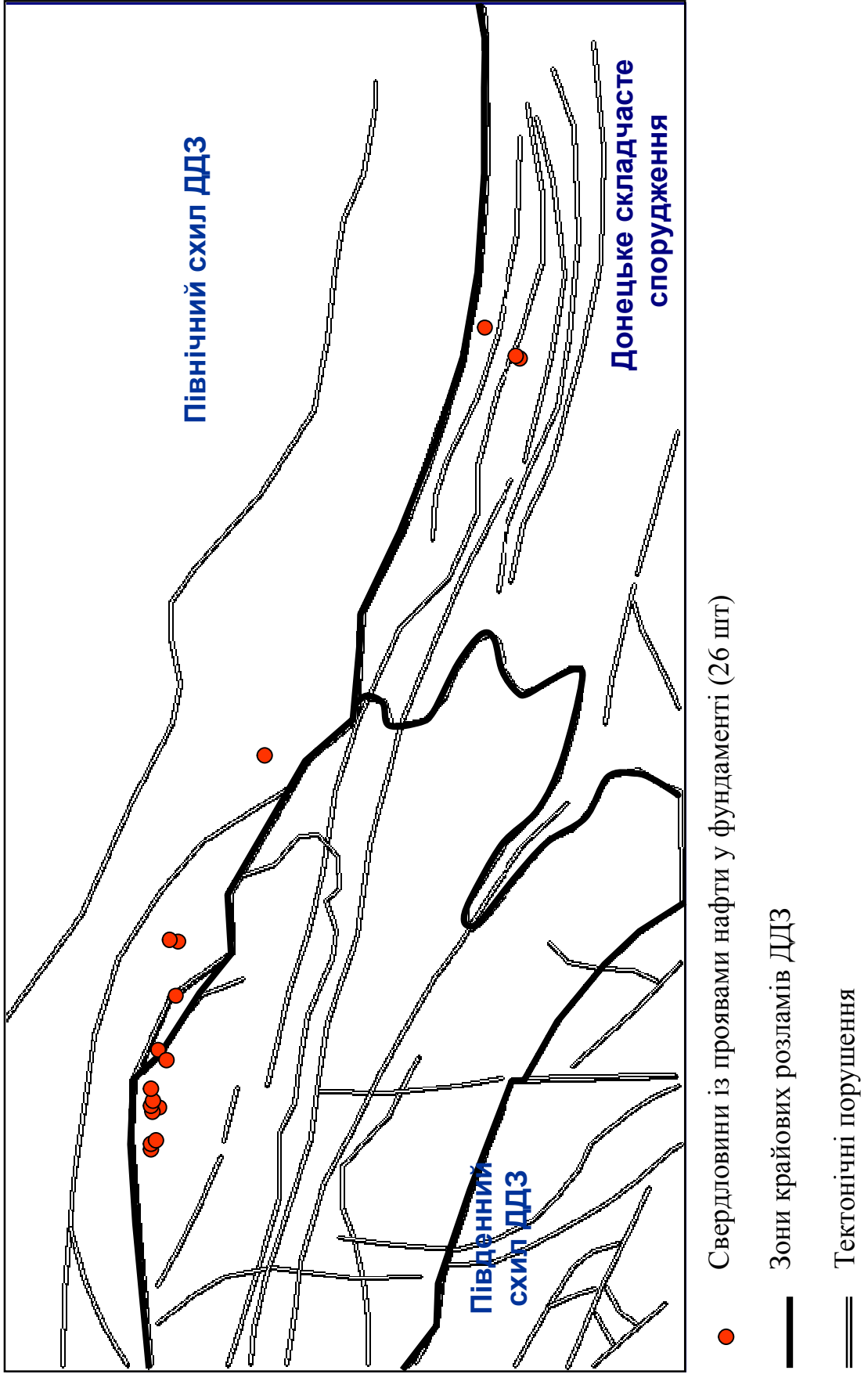


Рис. 3.3 Прояви нафти в фундаменті ДДЗ

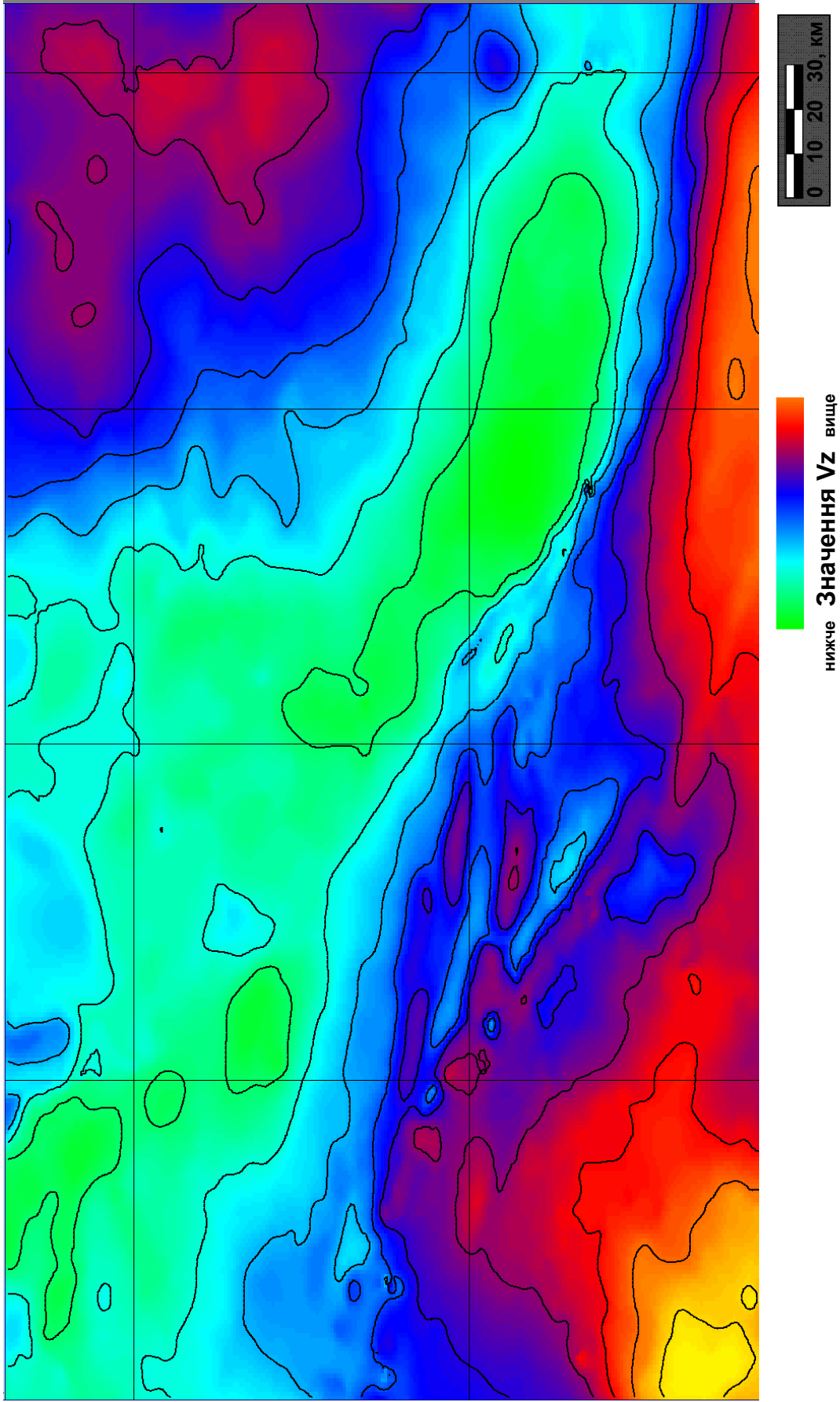


Рис. 3.5 Гравітаційне поле Vz. Масштаб 1:200 000

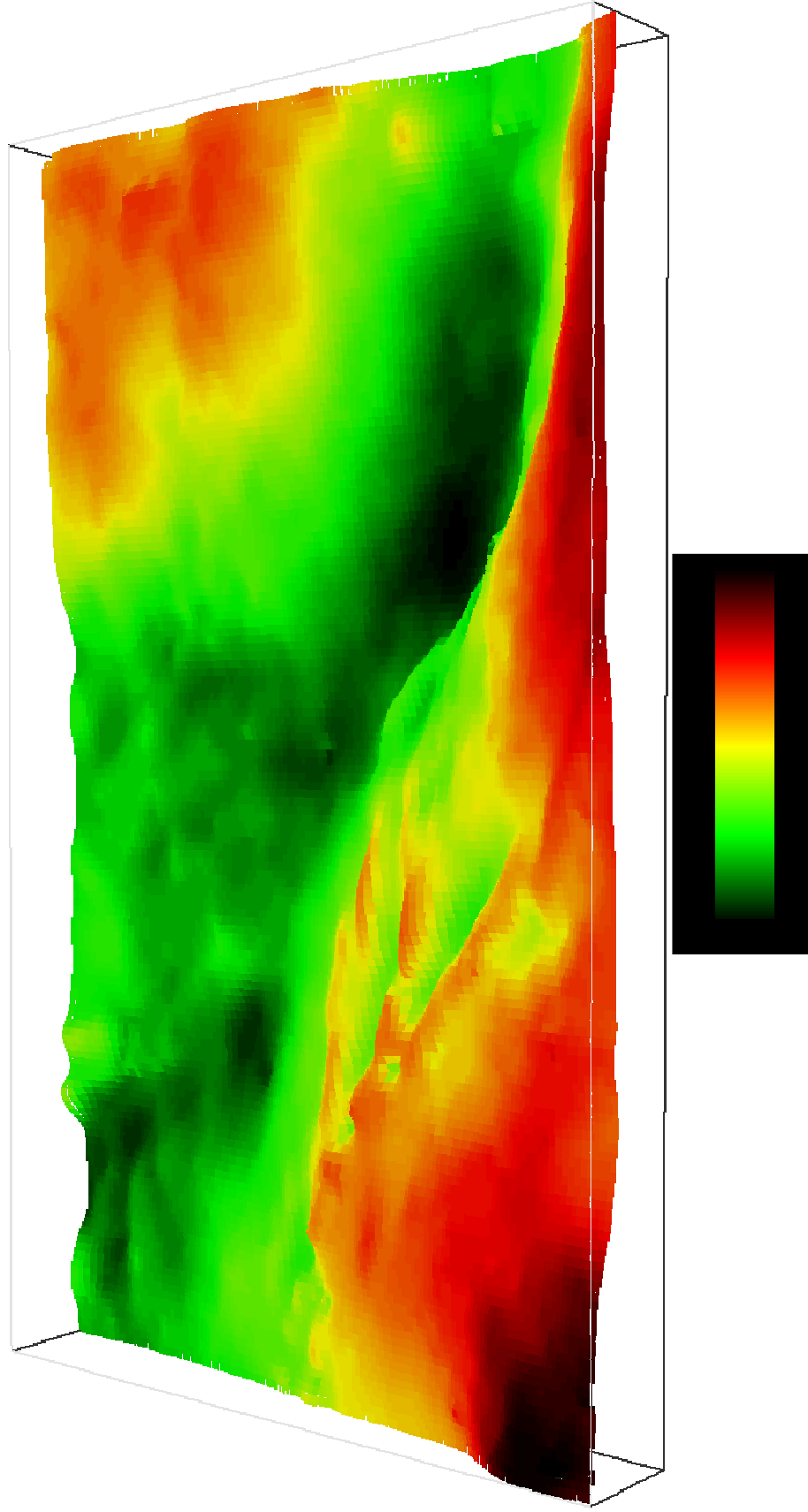


Рис. 3.5 Візуалізація гравітаційного поля Vz у вигляді тривимірної поверхні.

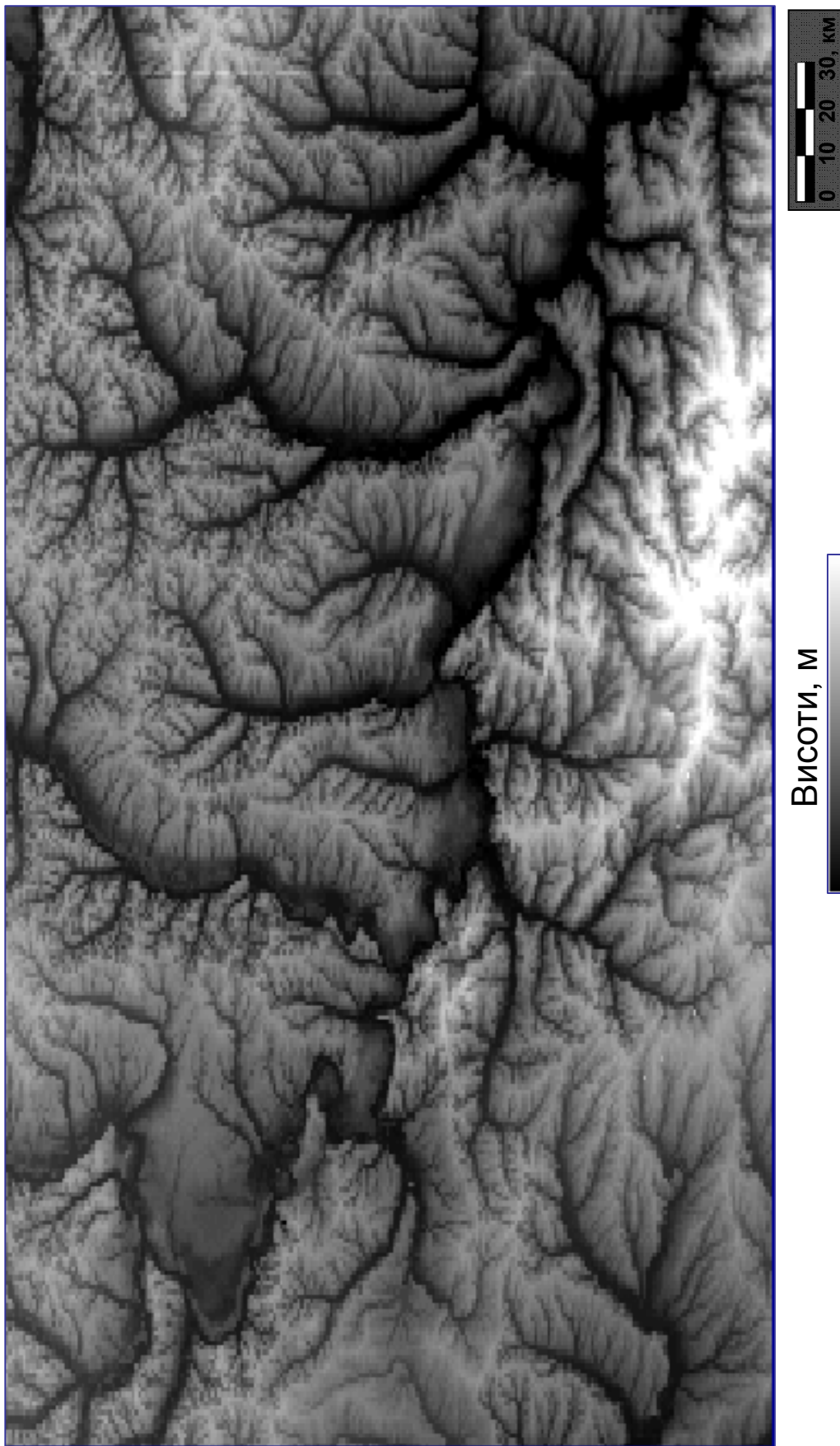


Рис. 3.6 Цифрова модель рельєфу денної поверхні. Масштаб 1:200 000

Технологія прогнозу базувалася на побудові інтегральної прогнозної моделі (див. гл. 2.1), що слугувала основою для застосування методів інтелектуального аналізу геоданих.

Еталонна вибірка була сформована із сукупності комірок регулярної мережі, що збігається з мережею спостережень гравітаційного поля, шляхом апроксимації усть свердловин із зафіксованими притоками нафти. Дослідним шляхом було встановлено, що найвища точність прогнозу досягається при апроксимації усть 5-ю комірками, розташованими у формі хреста із центром безпосередньо над устям. Таким чином, еталонна вибірка, що представляє перспективні об'єкти, складалася з $26 \times 5 = 130$ об'єктів. Оскільки низка методів інтелектуального аналізу даних (наприклад, методи категорійної класифікації з навчанням) вимагають наявності другої, «безперспективної» вибірки, остання була сформована із точок (комірок), випадковим образом розташованих на досліджуваній території. При цьому як умова використовувалася віддаленість цих комірок, як від відомих нафтогазових родовищ, так і від 26-ти нафтоносних свердловин, не менш ніж на 5 км.

В основу модель природно-геологічного поділу (ПГП) еталонної вибірки був покладений структурний принцип. Еталонна вибірка, що представляє перспективні об'єкти, розділялася на 3 класи. У перший увійшли об'єкти, що перебувають на території північного схилу ДДЗ, у другий - на території центральної частини ДДЗ, у третій - на території Донецького складчастого спорудження (рис. 3.7)

Цифрова геологічна модель 1-го типу (див. п. 2.1.1) була сформована на основі дрібномасштабної геологічної схеми й включала 4 майданні об'єкти, що представляють собою найбільші структурні одиниці території - північний і південний схили ДДЗ, центральну частину ДДЗ і Донецьке складчасте спорудження.

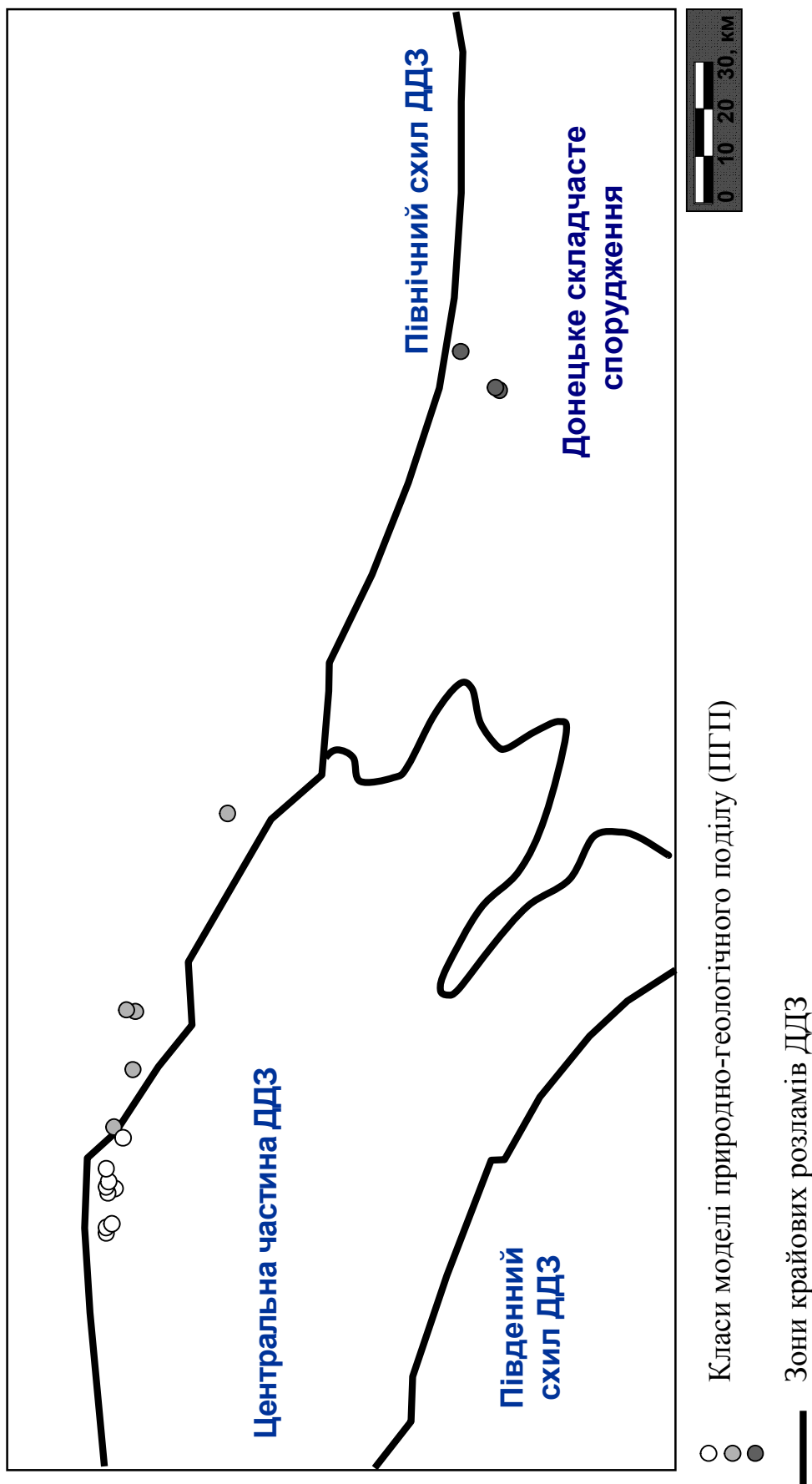


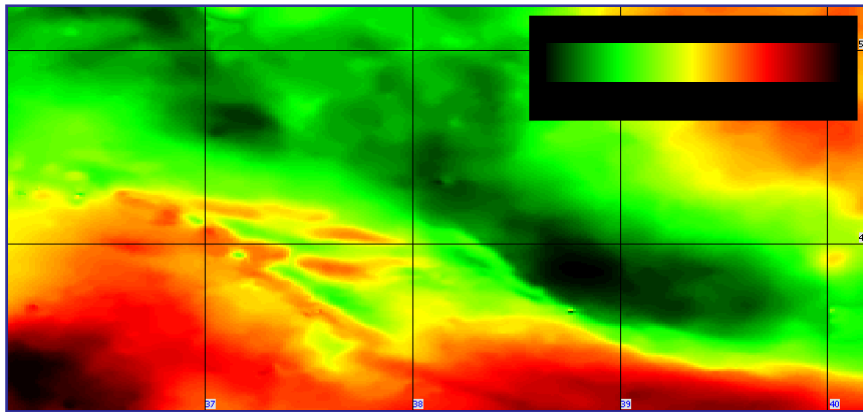
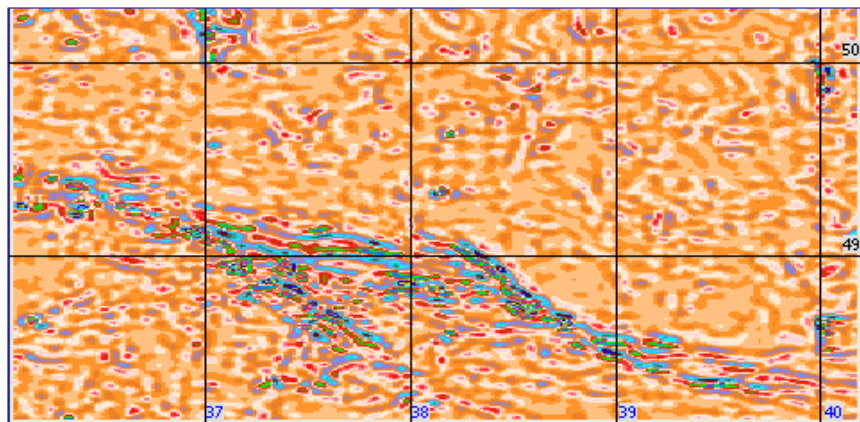
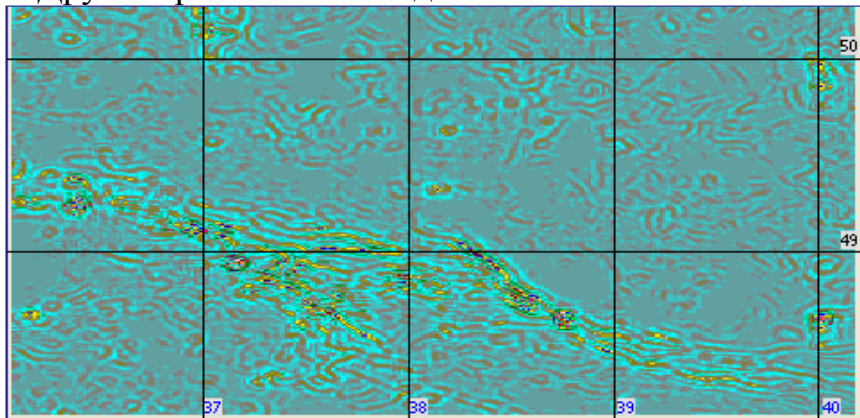
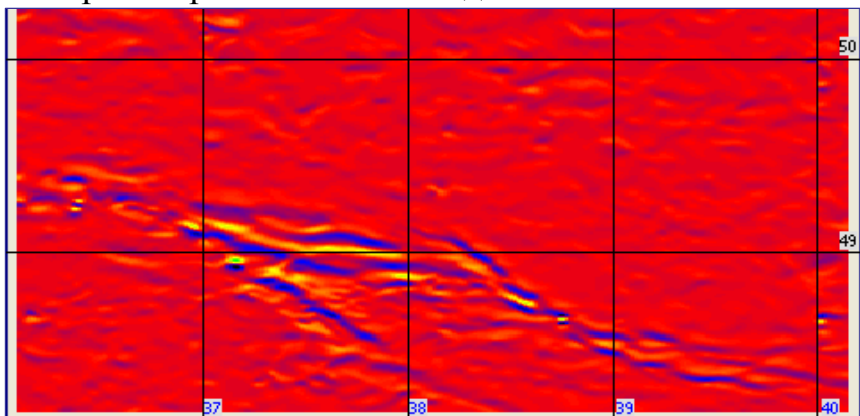
Рис. 3.7 Модель природно-геологічного поділу еталонних об'єктів

Етап генерації ознак містив у собі розрахунок різноманітних трансформанта гравітаційного поля топографічної поверхні - диференціальних, текстурних, гістограмних, морфологічних, кореляційних, фрактальних і інших (див. п. 2.2.1), що дозволяють підкреслити ті або інші аспекти нафтогазоносності фундаменту й найчастіше мають більшу інформативність в порівнянні з вхідними даними. Приклади трансформант наведені на рис. 3.8

У число ознак також були включені результати космічної зйомки в тепловому (далекому інфрачервоному) діапазоні спектра. Кожний окремий знімок, створений за технологією MOD11A2, представляв результат узагальнення значень теплового поля над досліджуваною територією за 8мі-денний інтервал. Усього використовувалося таких 16 знімків, зроблених у період з листопада по березень протягом 2009-2012 рр. Із цих знімків 8 представляють денний час доби й 8 – нічний. Таким чином, сукупність наявних знімків досить повно описує картину теплового поля над ділянкою й дозволяє знизити вплив випадкових і псевдовипадкових факторів (короткочасні зміни кліматичних умов, одиничні викиди тепла техногенного походження й т.п.)

Приклад теплових знімків наведений на рис. 3.9. Обробка теплових знімків дозволила розрахувати ряд комплексних показників, серед яких найбільший інтерес представляє дисперсія розкиду 16-мірних векторів навколо середнього в ковзному вікні 6х6 км (рис. 3.10).

Як видно з рисунка, негативні аномалії цього показника зафіксовані в областях розташування свердловин із встановленою нафтогазоносністю фундаменту. Дані області характеризуються мінімальними коливаннями температури, що може свідчити про великий внесок фонові, постійної складові, можливо обумовленої існуванням постійного притоку тепла з надр. Встановлений просторовий зв'язок негативних аномалій обчисленого показника з нафтогазоносністю фундаменту може використовуватися для подальшого прогнозу, у тому числі й на суміжних ділянках.

Гравітаційне поле V_z Різніцеві аномалії поля V_z Друга вертикальна похідна поля V_z Перша горизонтальна похідна поля V_z Рис. 3.8. Гравітаційне поле V_z та приклади його трансформант

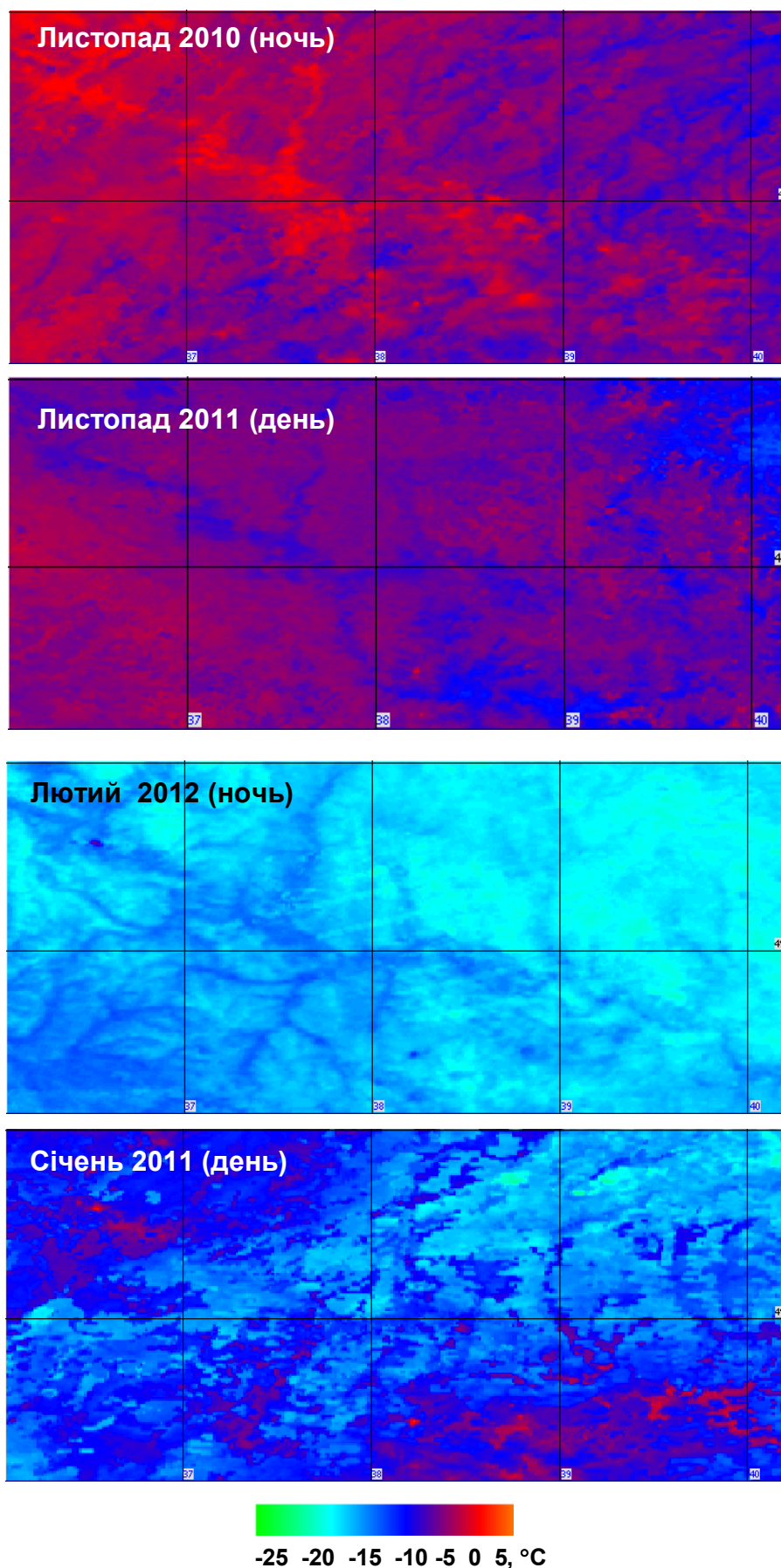
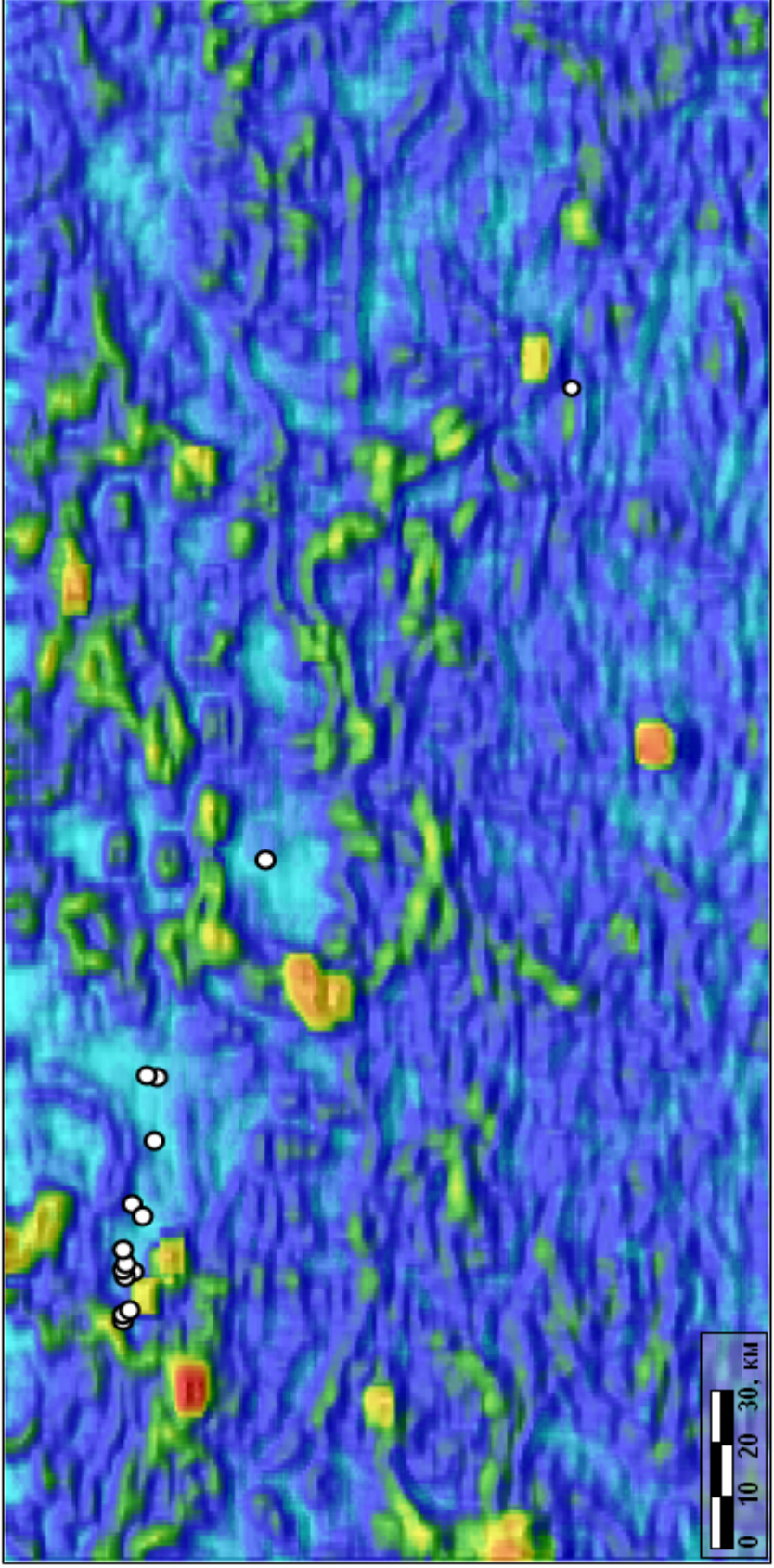


Рис. 3.9. Приклади теплових знімків MODIS (розрізнення 1000 м; продукт MOD11A2)



○ Свердловини із проявами нафти у фундаменті

Рис. 3.10. Комплексний показник теплового поля (дисперсія розкиду 16-мірних векторів навколо середнього в кінці 6х6 км)

Окремий етап досліджень включав виділення лінеаментів і проведення їхнього аналізу. Як підкреслювалося в розділі 1, зони порушення суцільності фундаменту, вираженням яких є лінеаменти, відіграють важливу роль у формуванні скупчень нафти й газу у фундаменті й надфундаментній товщі.

Виділення лінеаментів проводилося за допомогою інтерактивної методики, описаної в главі 2.2.2. Окремо виділялися лінеаменти рельєфу й низькочастотної складової гравітаційного поля (що відбиває неоднорідності фундаменту у відмінності від середньо- і високочастотних складових, що відображають вплив надфундаментної товщі). Далі лінеаменти обох типів поєднувалися з єдиною системою (рис 3.11). Як і в інших частинах земної кулі, на досліджуваній території переважають лінеаменти з азимутами 0, 45, 90 і 135 градусів [10, 16, 17].

Виділена система лінеаментів слугувала основою для розрахунку ряду характеристик лінеаментних мереж [18], у тому числі, щільності лінеаментів усередині ковзного вікна. Як видно на рис. 3.12, відомі прояви нафтогазоносності фундаменту, у більшості випадків, приурочені до позитивних аномалій щільності лінеаментів, що свідчить про можливість здійснення прогнозу на основі методів лінеаментного аналізу.

Трансформації гравітаційного поля й топографічної поверхні, показники теплового поля й характеристики мережі лінеаментів застосовані для формування багатомірного ознакового простору, використовуюваного для виконання прогнозу методами класифікації з навчанням.

Був сформований т.зв. поділяючий набір (див. п. 2.1.1) з 48-мі різних ознак, що забезпечує поділ еталонної вибірки на класи у багатомірному ознаковому просторі, максимально близький до ПГП. Використання такого набору ознак в операціях інтелектуального аналізу геоданих сприяє одержанню геологічно змістовних результатів прогнозу.

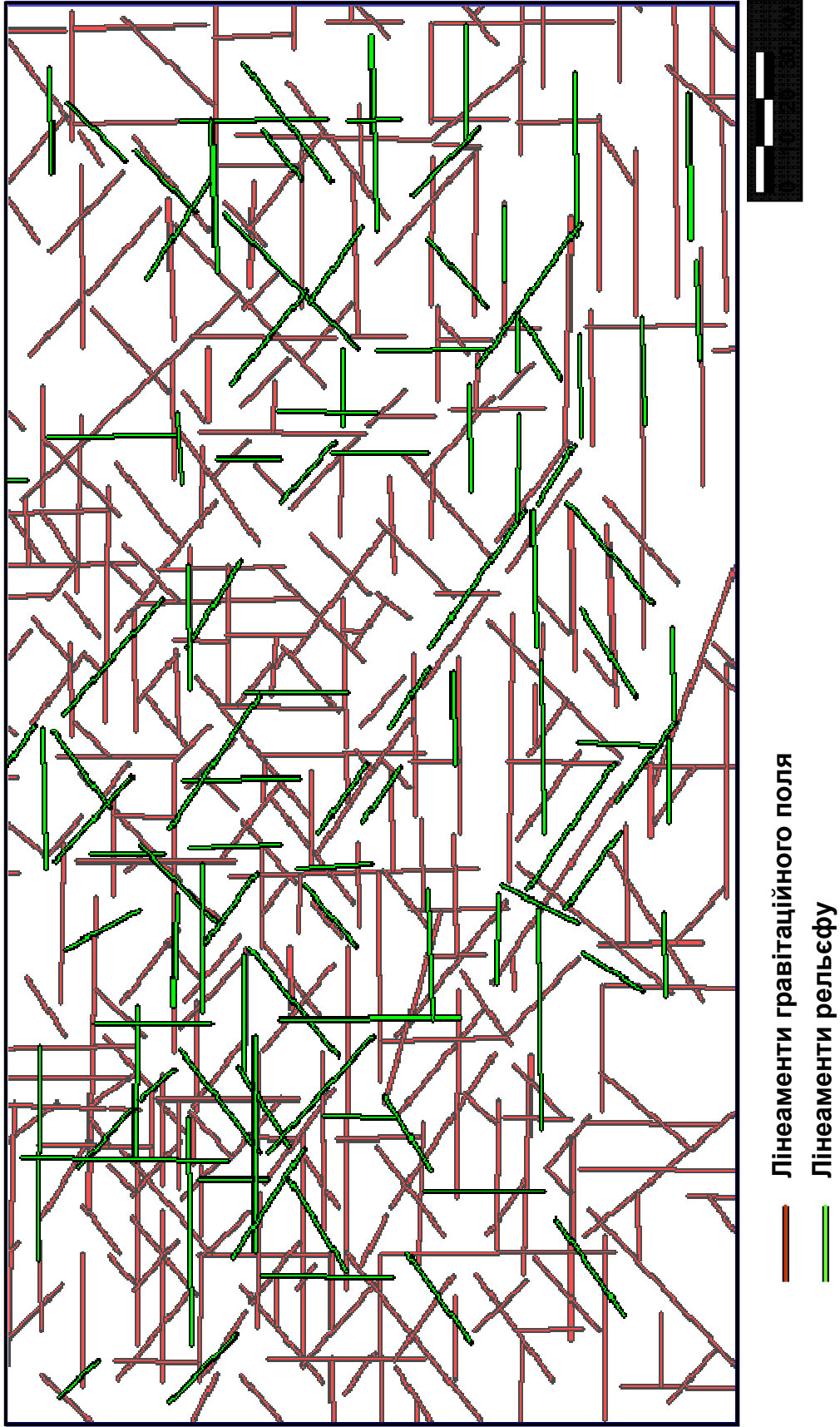


Рис. 3.11. Мережа лінементів на ділянці досліджень (за матеріалами масштабу 1:200000)

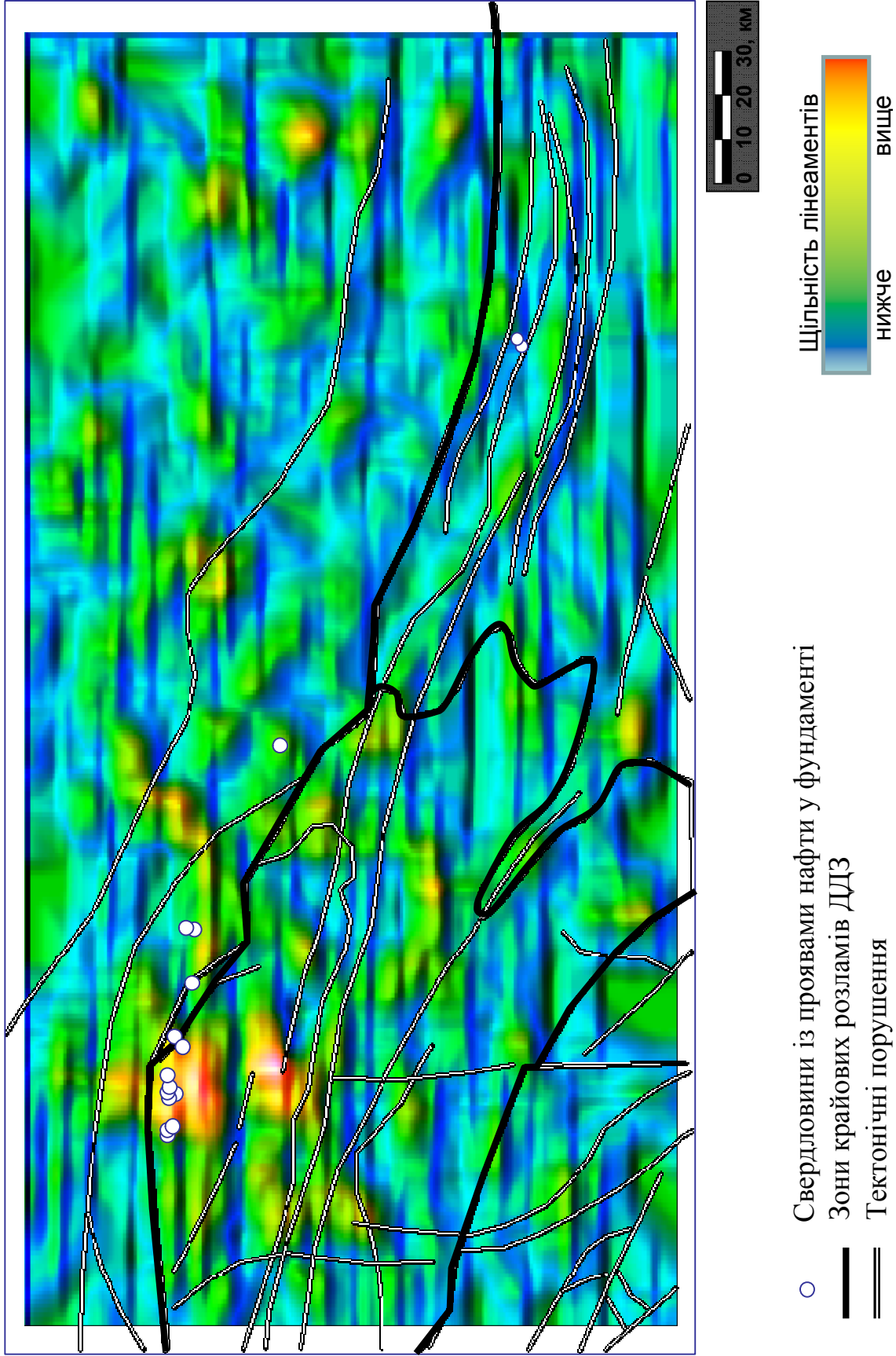


Рис. 3.12. Щільність лінеаментів (розрахована в ковзному вікні 14x14 км)

На основі побудованої моделі ПГП і поділяючого набору еталонна вибірка ділилася на кілька навчальних вибірок, з більш компактним розташуванням об'єктів, що їх складають, у багатомірному просторі ознак (у порівнянні з вхідною вибіркою). Кожна навчальна вибірка представляла клас об'єктів, що мають певну спільність властивостей. Окремі об'єкти, що порушують компактність, переводилися в контрольну вибірку, використовувану надалі для оцінки якості виконаного прогнозу.

У результаті поділу еталонної вибірки, проведеної за методикою, описаної в главі 2.1.3, було отримано 2 класи, що є компактно розташованими в багатомірному просторі й при цьому наближених до класів моделі ПГП, що свідчить про геологічну змістовність виконаного поділу (рис. 3.13).

У рамках побудови описової моделі 2-го типу для навчальних вибірок обох класів, з використанням вибірки, що представляє довільні точки (умовно «безперспективні» об'єкти), виконана побудова діагностуючих наборів. У ході побудови відбиралися ознаки, здатні забезпечити одночасну оптимізацію групової інформативності (імовірності помилкової класифікацію) і геологічної змістовності (здатності набору щонайкраще відбивати основні структурні одиниці геологічної будови території).

У результаті в діагностуючий набір для 1-го класу ввійшли:

1. Показник анізотропії мережі лінеаментів

$$A_1 = (d_0^2 + d_{45}^2 + d_{90}^2 + d_{135}^2) - (d_0 + d_{45} + d_{90} + d_{135})^2,$$

де $d_0, d_{45}, d_{90}, d_{135}$ - щільність різноспрямованих лінеаментів

2. Тепловий знімок MODIS (день, січень 2011)

3. Тепловий знімок MODIS (ніч, листопад 2011)

4. Тепловий знімок MODIS (день, лютий 2010)

5. Друга вертикальна похідна залишкового гравітаційного поля

Імовірність помилки класифікації склала 11.32%

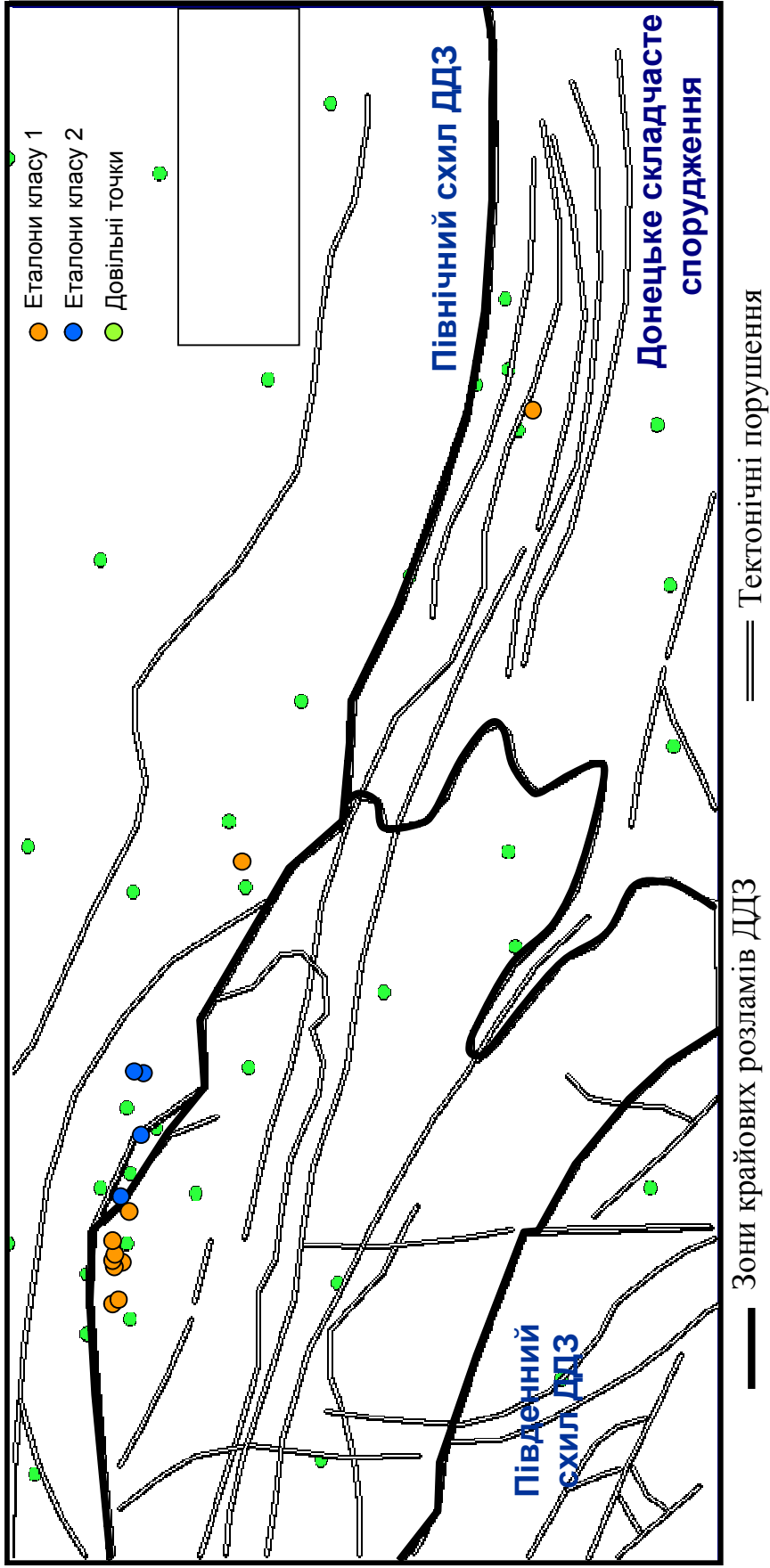


Рис. 3.13. Розташування об'єктів навчальних вибірок у географічному просторі

У діагностуючий набір для 1-го класу ввійшли 4 ознаки:

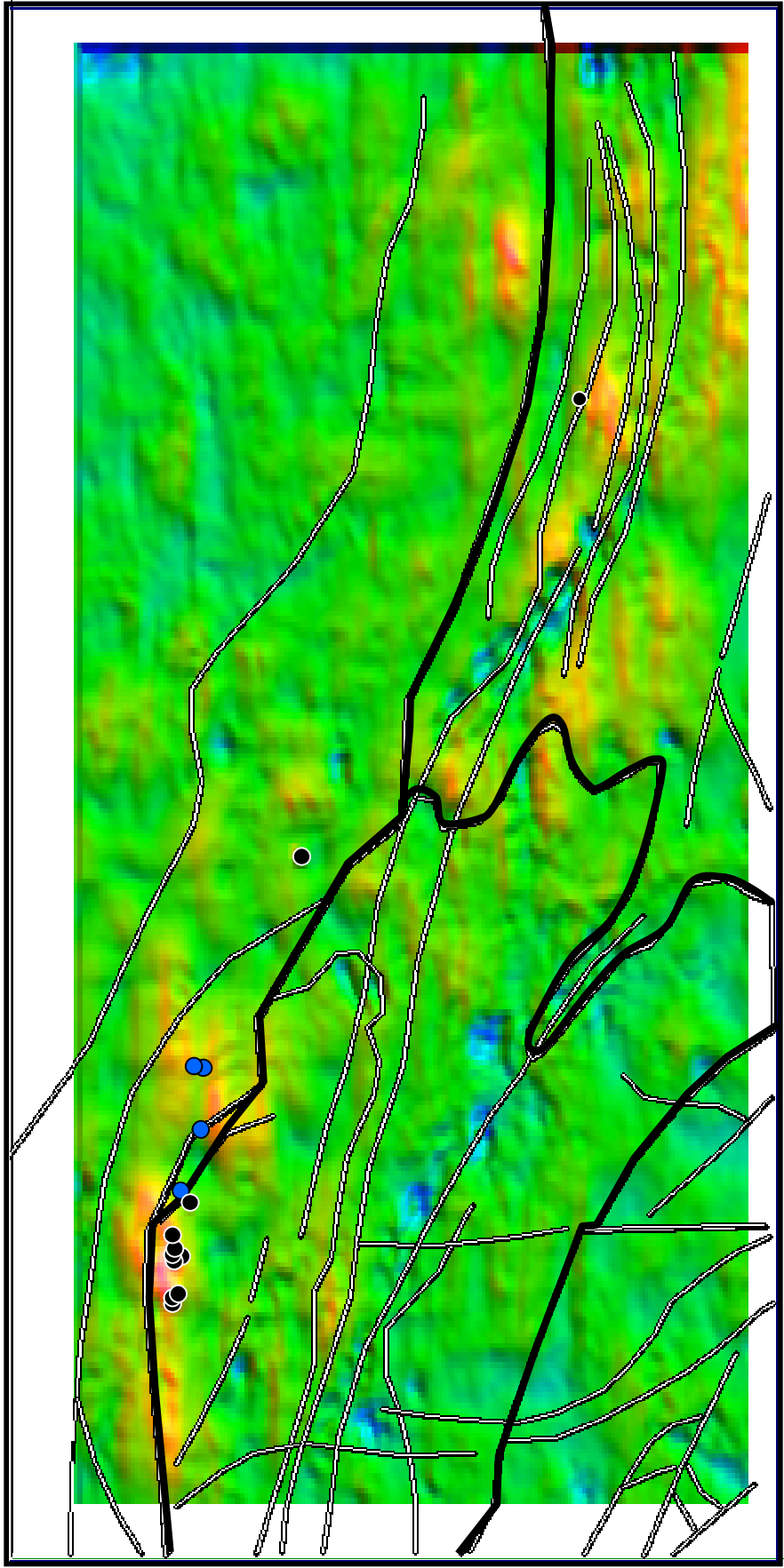
1. Тепловий знімок MODIS (ніч, листопад 2011)
2. Показник анізотропії мережі лінеаментів $A2 = |d\ 0-0- d90| + |d\ 45-d135|$
3. Дисперсія розкиду температури по 16-ти теплових знімках MODIS (у вікні 10x10км)
4. Гравітаційне поле Vz. Трансформація «Типи поверхні»

Імовірність помилки класифікації склала 10.26%

У ході побудови діагностуючих наборів виконувалася зміна складу навчальних вибірок за методикою, описаної в главі 2.1.3, а також вибір вирішального правила класифікації, що забезпечує найменшу ймовірність помилки класифікації з одночасним збереженням геологічної змістовності результатів прогнозування.

Отримані діагностуючі набори й скоректовані навчальні вибірки двох класів вибірки дозволили виконати побудова прогнозних карт, що відбивають міри подібності території з об'єктами 1-го й 2-го класів (рис. 3.14-3.15). Зони низьких значень на цих картах відповідають ділянкам максимальної перспективності на виявлення нафтогазових покладів. Об'єднані контури таких зон для 1-го й 2-го класів показані на рис. 3.16.

Вірогідність отриманих результатів підтверджується як фактом влучення в зазначені зони об'єктів навчальних і контрольної вибірок, так і закономірним розташуванням зон стосовно відомих нафтогазових родовищ (більшість із яких розташовується в надфундаментній товщі), показаним на рис. 3.17.



- Об'єкти класу 1
- Об'єкти класу 2
- ══ Тектонічні порушення
- ══ Зони крайових розломів ДДЗ

Значення міри близькості

нижче вище

0 10 20 30, км

Рис. 3.14 Карта міри близькості території відносно об'єктів навчальної вибірки 1-го класу

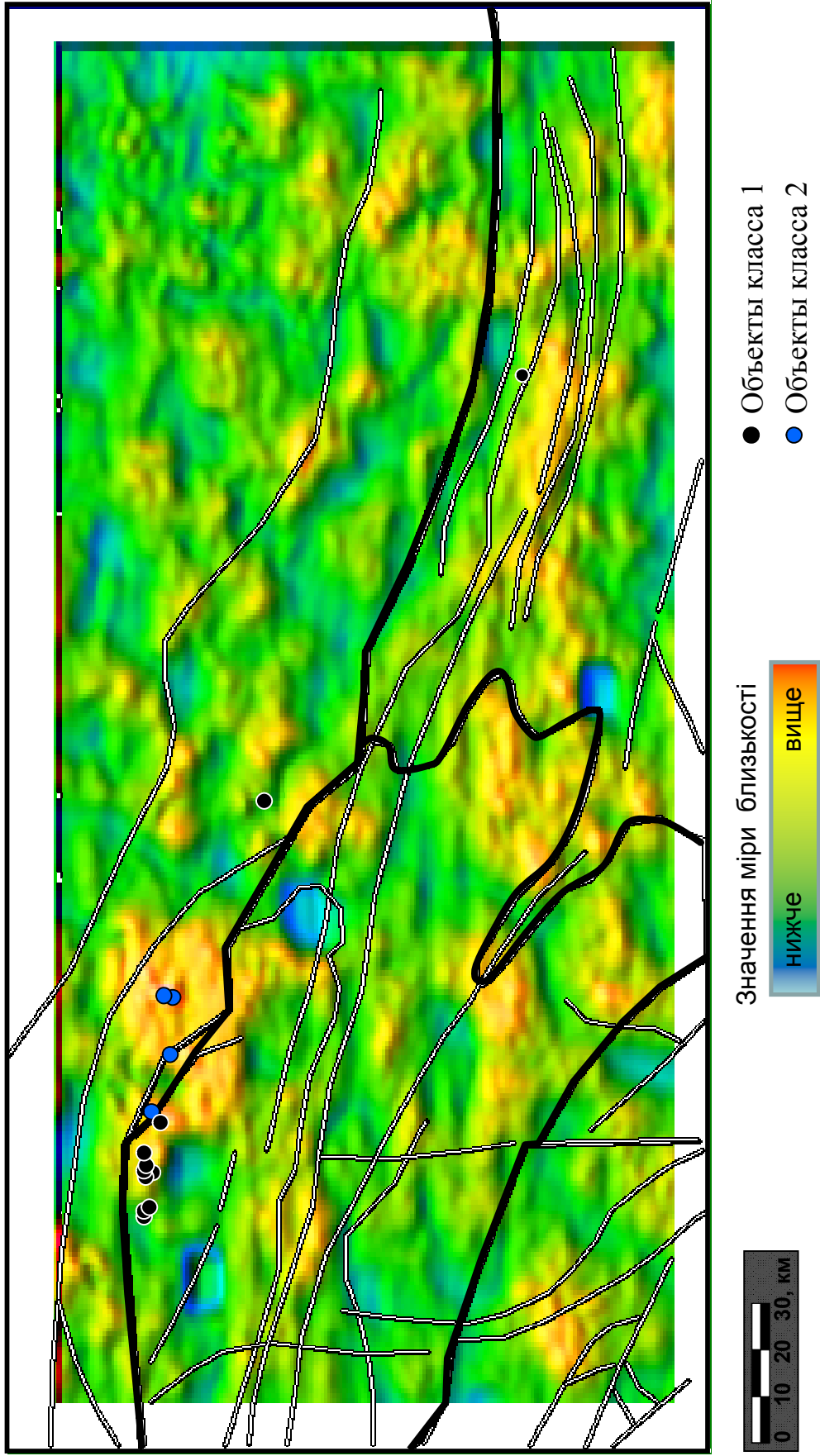


Рис. 3.15. Карта міри близькості території відносно об'єктів навчальної вибірки 2-го класу

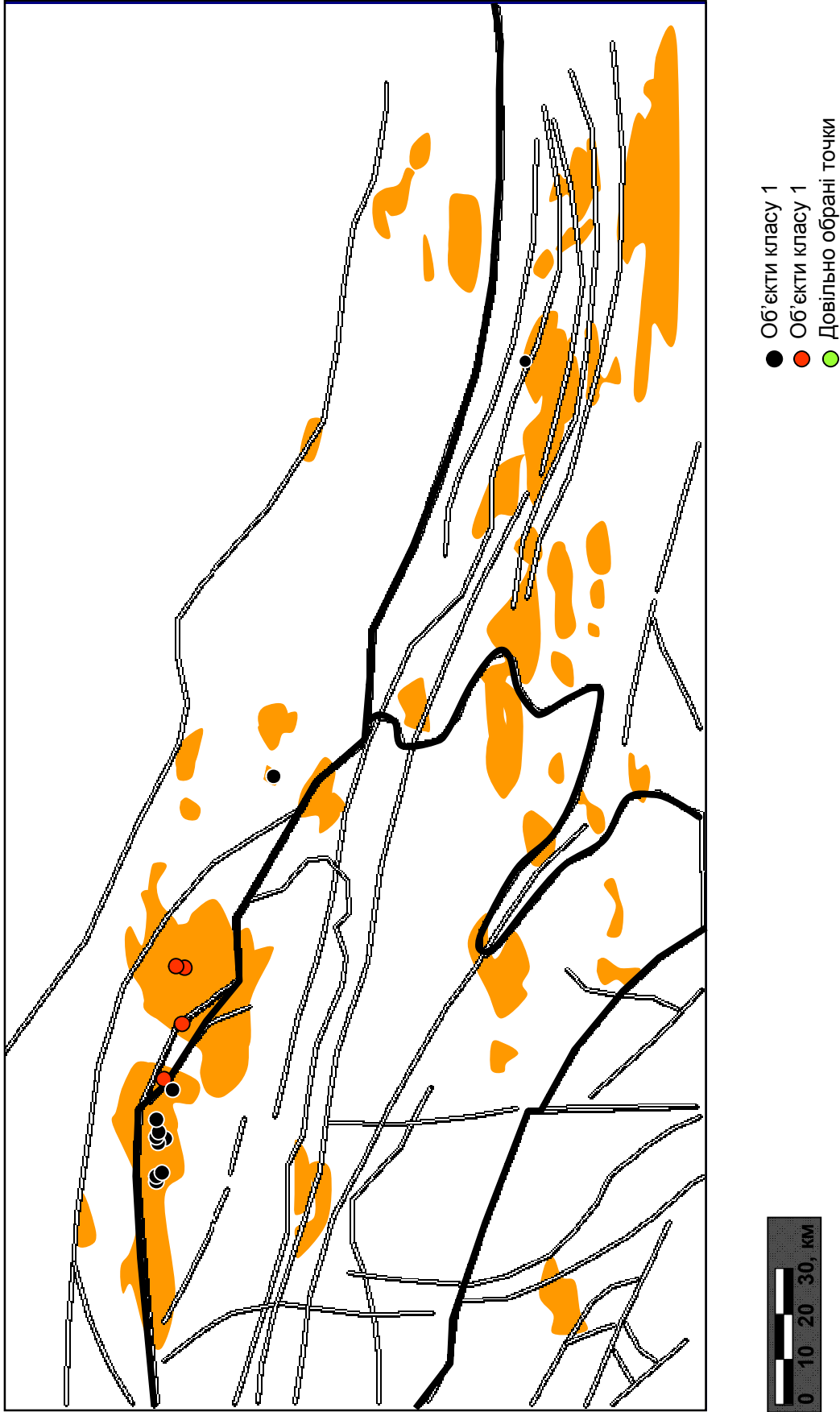
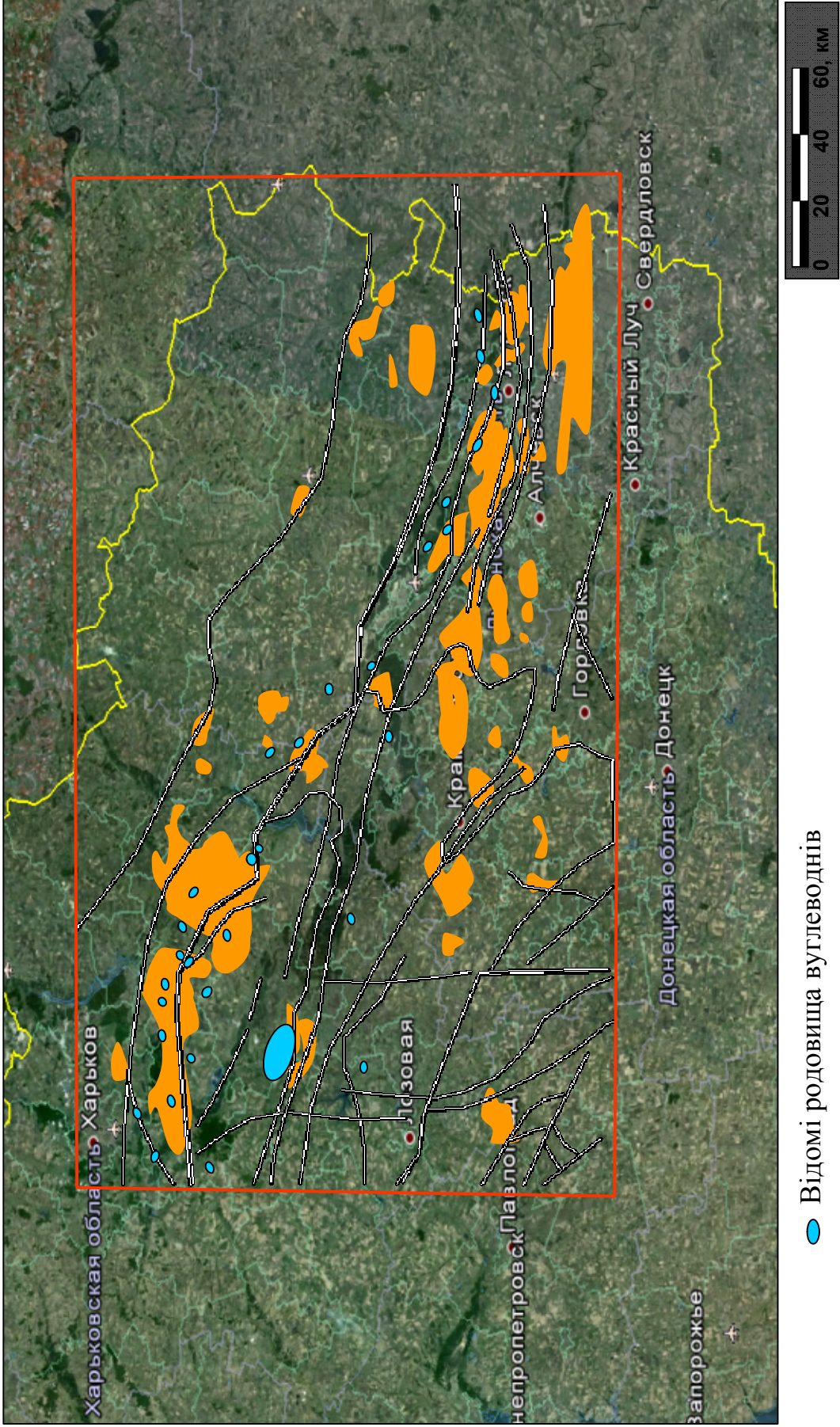


Рис. 3.16. Об'єднані контури перспективних зон 1-го й 2-го класів



● Відомі родовища вуглеводнів

Рис. 3.17. Місце розташування виділених контурів і відомих родовищ вуглеводнів (на космоснімку Google)

3.2 Прогнозування вуглеводневих структур промислового значення в масштабі 1:50000

Прогноз, виконаний на попередньому етапі, дозволив перейти до великомасштабних досліджень у межах найбільш перспективних ділянок. Оскільки основний упор робився на вивчення північного борту ДДЗ, у межах досліджуваної території було виділено 3 ділянки, просторово розташованих у його межах (див. рис. 3.18). Площа ділянок: №1 – 600 км², №2 – 260 км², №3 – 1350 км².

Глибина кристалічного фундаменту на ділянках коливається від 1800 до 2300 м, що уможлиблює його вивчення геофізичними й космічними методами з використанням новітніх геоінформаційних технологій.

На даному етапі як інформаційна основа досліджень використані:

- матеріали гравітаційних зйомок масштабу 1:50000, що ілюструються рис. 3.19-3.21;
- цифрова модель рельєфу, побудована по даним космічного радарного знімка SRTM (рис. 3.22-3.24);
- багатоканальні знімки Landsat-TM з розрізненням 30 м;
- геологічні матеріали.

Гравітаційні зйомки зазначеного масштабу виконувалися в різні роки різними геофізичними організаціями по різній мережі, що обумовило необхідність приведення значень до єдиної регулярної мережі шляхом інтерполяції з використанням методу радіальних базисних функцій.

У такий же спосіб, до тієї ж регулярної мережі були приведені висоти цифрової моделі рельєфу й значення яскравості космічних знімків.

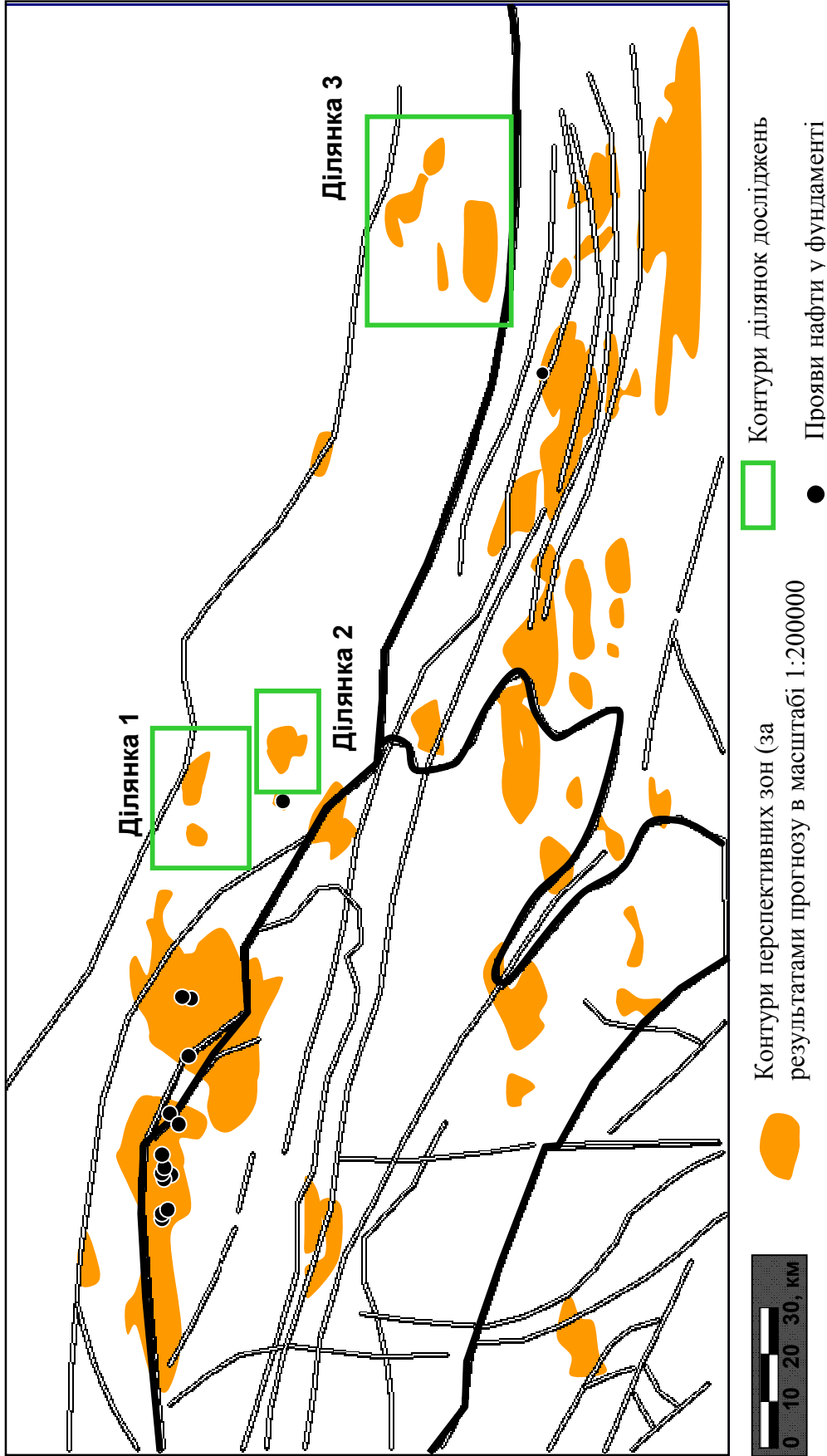


Рис. 3.18. Ділянки досліджень у масштабі 1:50000

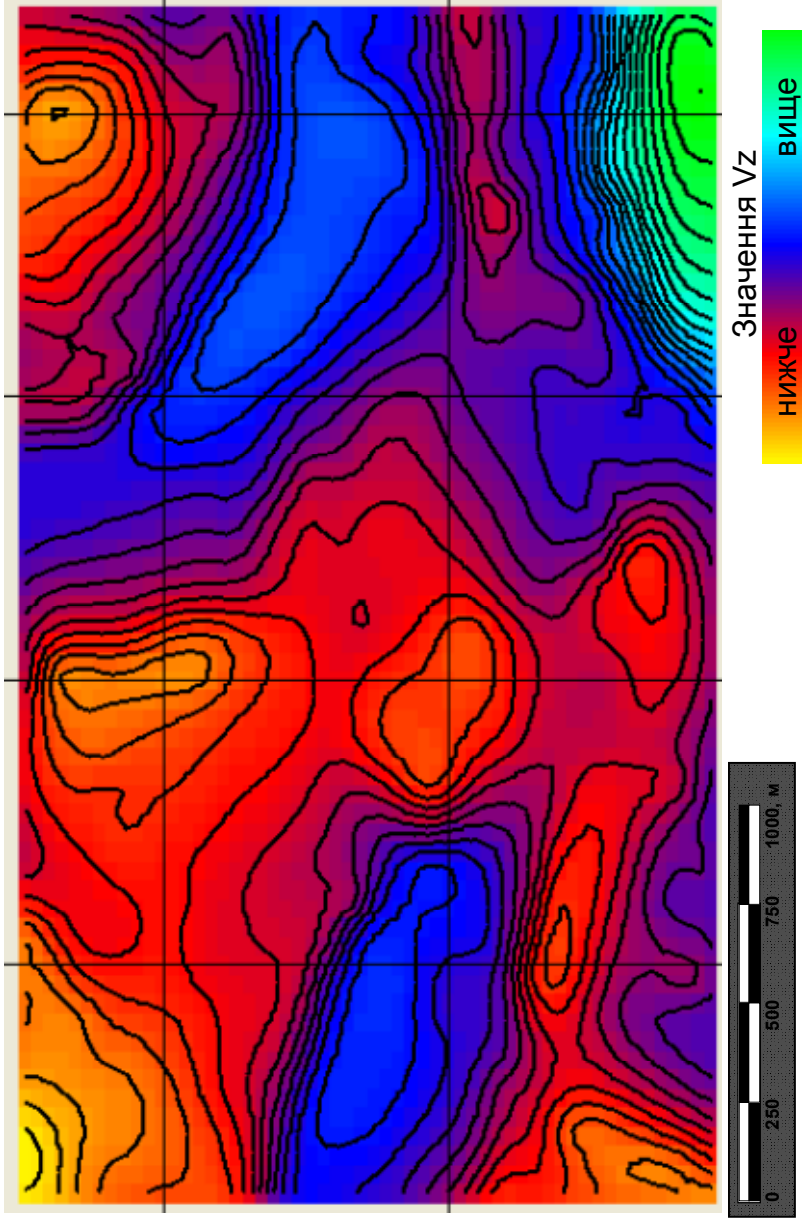


Рис. 3.19. Гравітаційне поле Vz на ділянці 1

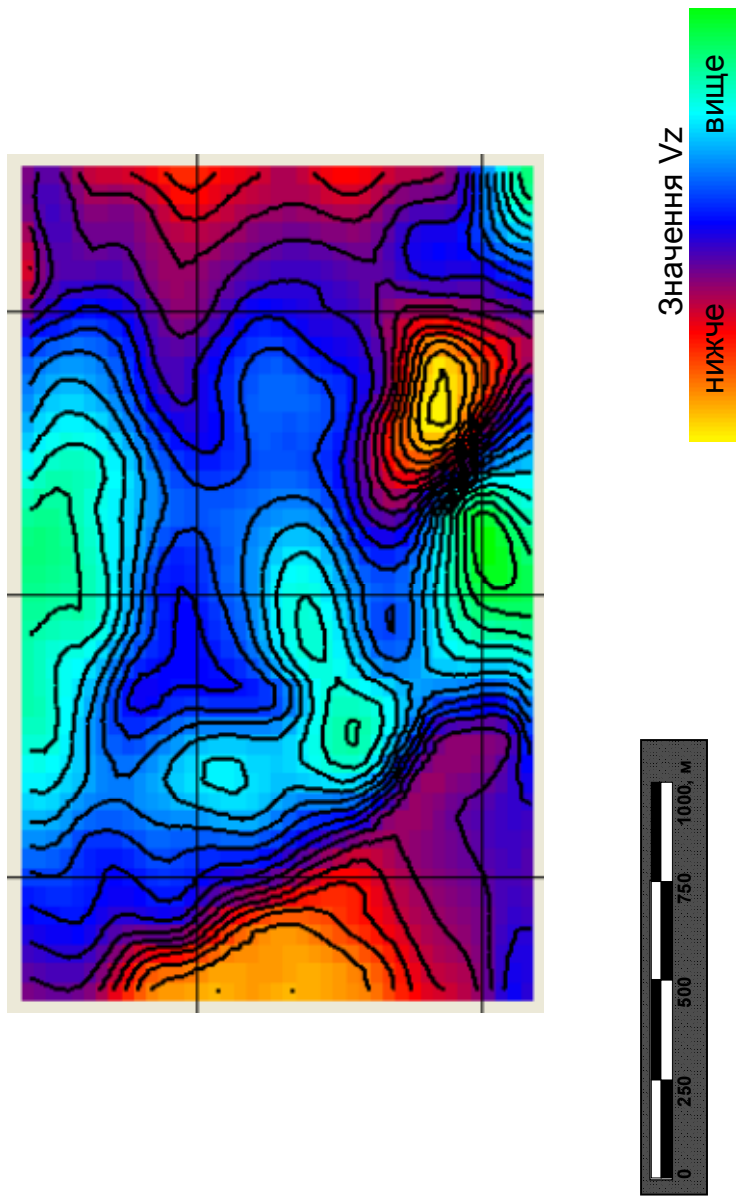


Рис. 3.20. Гравітаційне поле V_z на ділянці 2

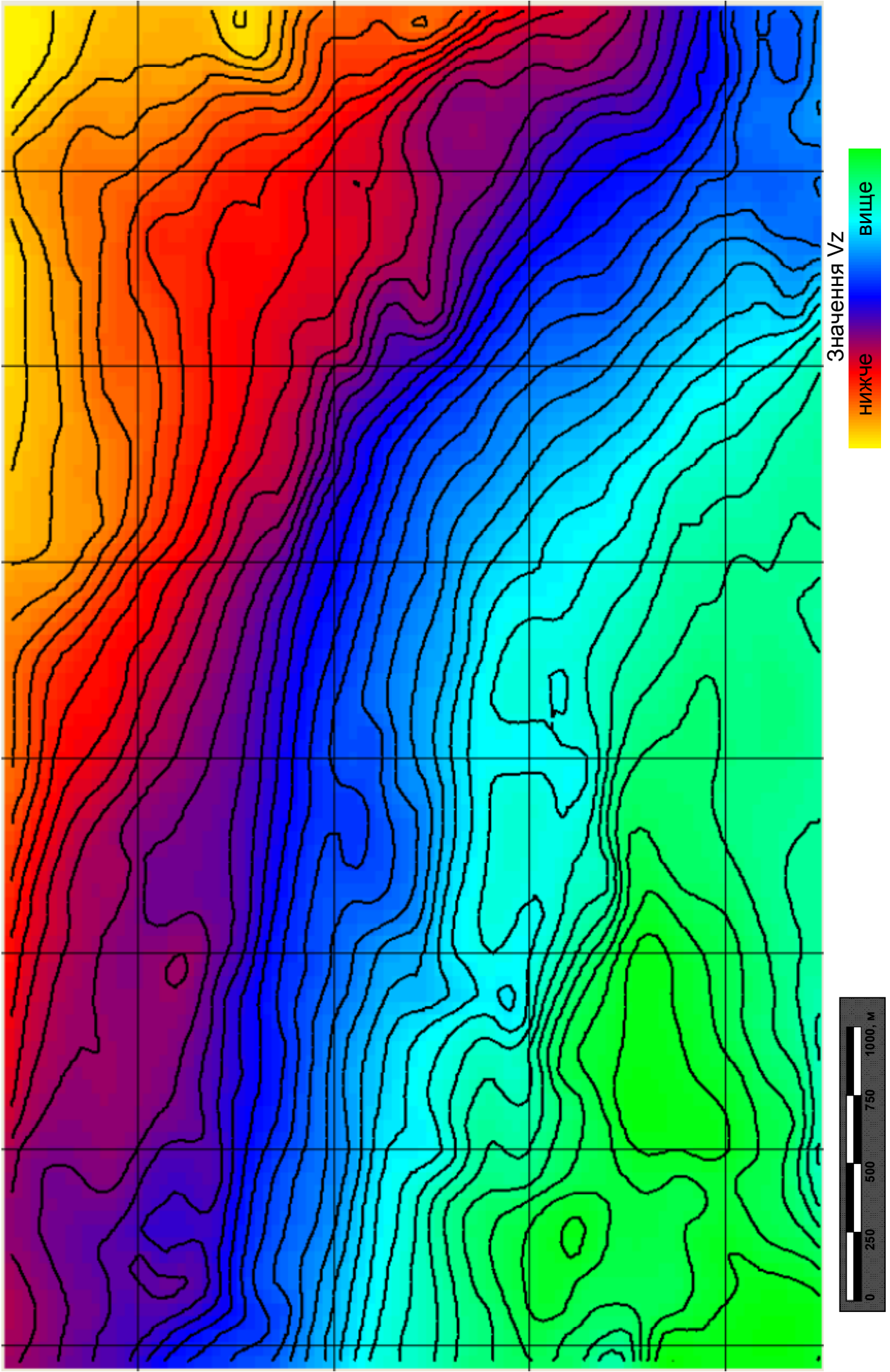


Рис. 3.21. Гравітаційне поле Vz на ділянці 3

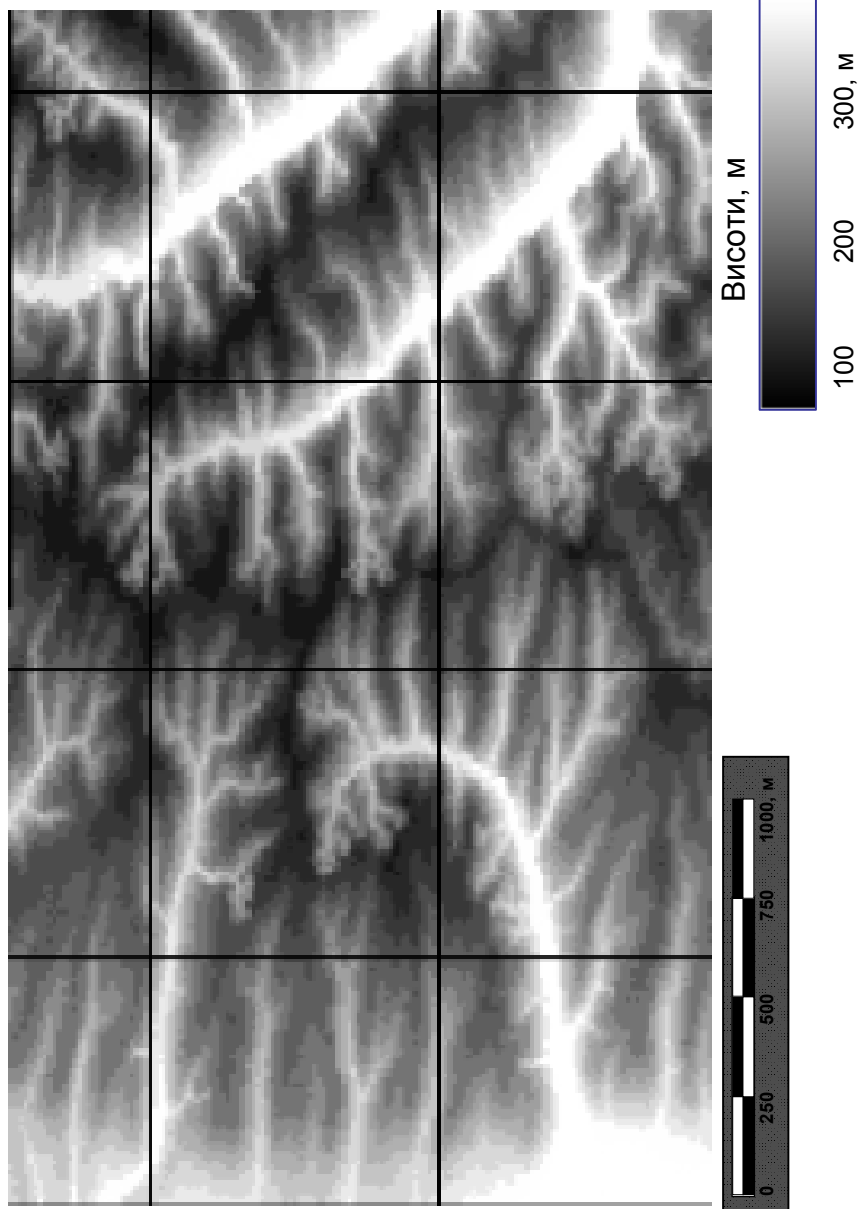


Рис. 3.22. Цифрова модель рельєфу на ділянці 1

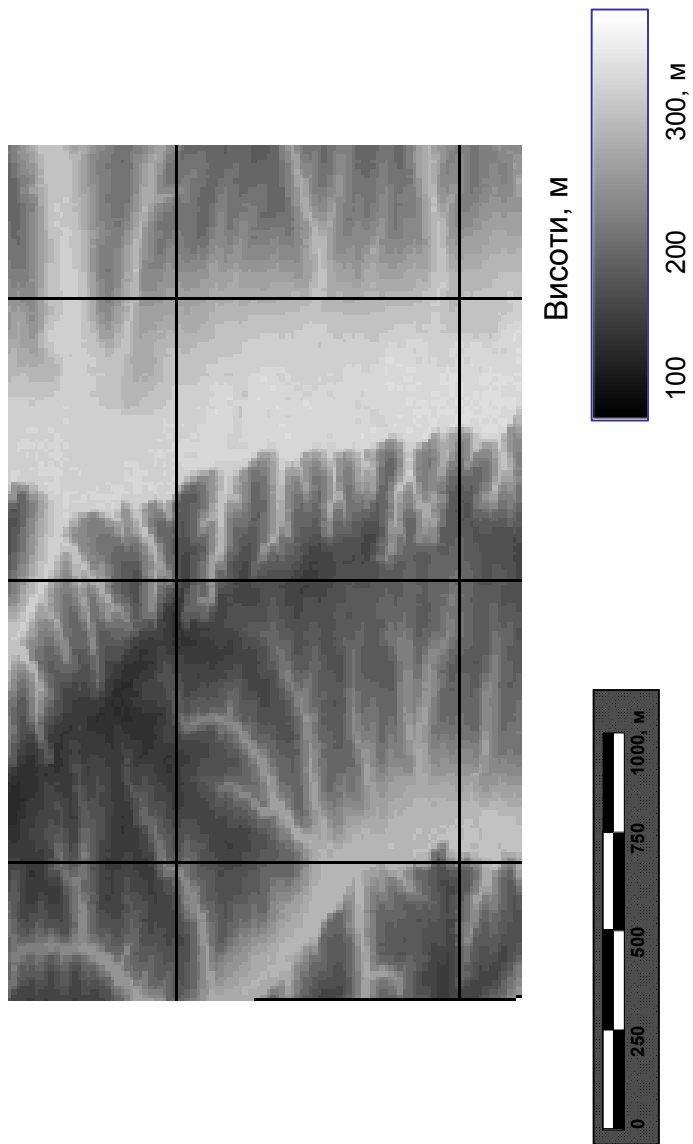
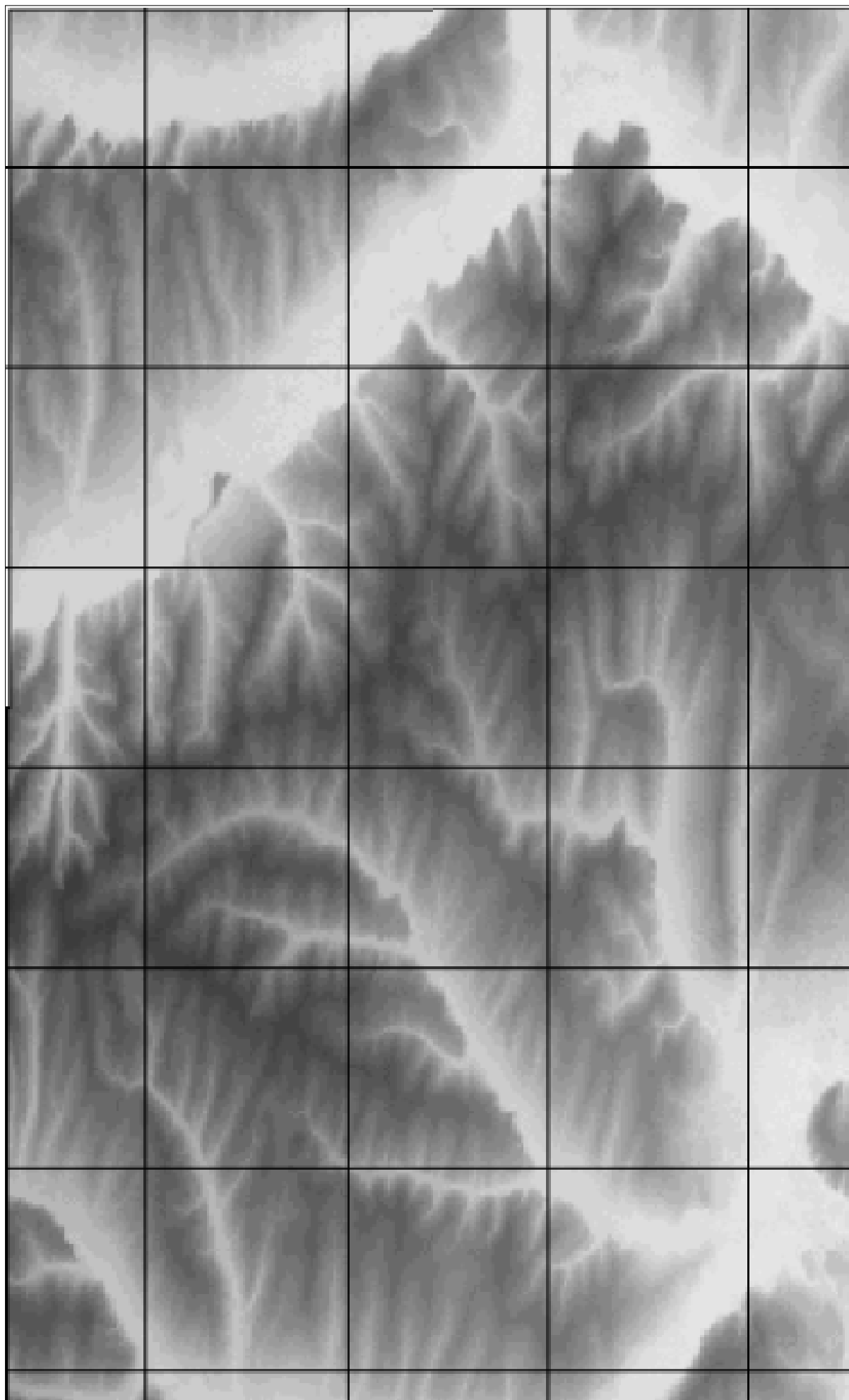


Рис. 3.23. Цифрова модель рельєфу на ділянці 2



Висоти, м



100 200 300, м

Рис. 3.24. Цифрова модель рельєфу на ділянці 3

Відмінністю описуваного етапу від попереднього, викладеного в главі 3.1, була відсутність у межах ділянок свердловин із установленою нафтогазоносністю. У зв'язку із цим навчальні вибірки для кожного з 3-х ділянок формувалися шляхом апроксимації лише усть просторово найближчих свердловин. Поділ навчальних вибірок на класи, зважаючи на їх малий обсяг, не виконувався.

Обмежені обсяги навчальних вибірок і відсутність теплових знімків необхідного просторового розрізнення обумовили визначальну роль прогнозування на основі методів лінеаментного аналізу, які показали свою ефективність на попередньому етапі.

Для підвищення вірогідності результатів виділення лінеаментів провадилося як по вихідних матеріалах, так і по їхніх трансформантах, що мають найвищу індивідуальну інформативність, розраховану на попередньому етапі.

Як показує практичний досвід, перехід від масштабу 1:200000 до масштабу 1:50000 завжди веде до кардинальної зміни картини розподілу лінеаментів. Більші структури, виділювані на дрібномасштабних знімках (що мають велику оглядовість) і у фізичних полях, при переході до більшого масштабу розпадаються на окремі прямолінійні фрагменти або на цілі групи однаково орієнтованих лінеаментів. Крім того, виділяються окремі лінійні елементи, не виявлені на дрібномасштабних матеріалах. І навпаки, у деяких ситуаціях, через зниження оглядовості, раніше виділювані структури при укрупненні масштабу перестають виділятися.

У результаті, перехід до іншої масштабності вихідних матеріалів дозволяє одержати нові ознаки, що несуть принципово нову інформацію, що може бути використана при рішенні прогнозно-пошукових задач.

Системи лінеаментів, виділені за матеріалами масштабу 1:50000, і карти їхньої щільності наведені на рис. 3.25-3.27.

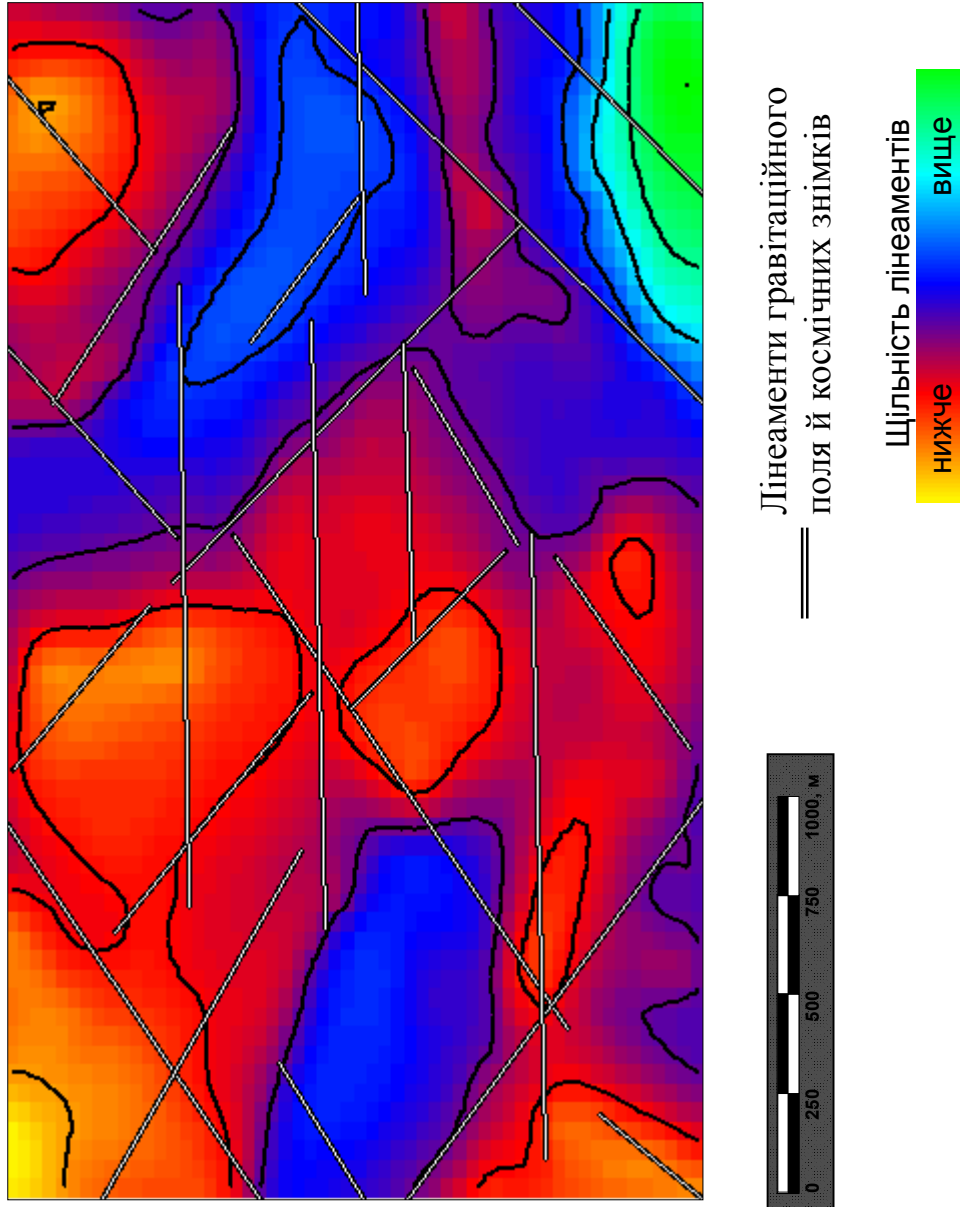


Рис. 3.25. Щільність лінеаментів на ділянці 1

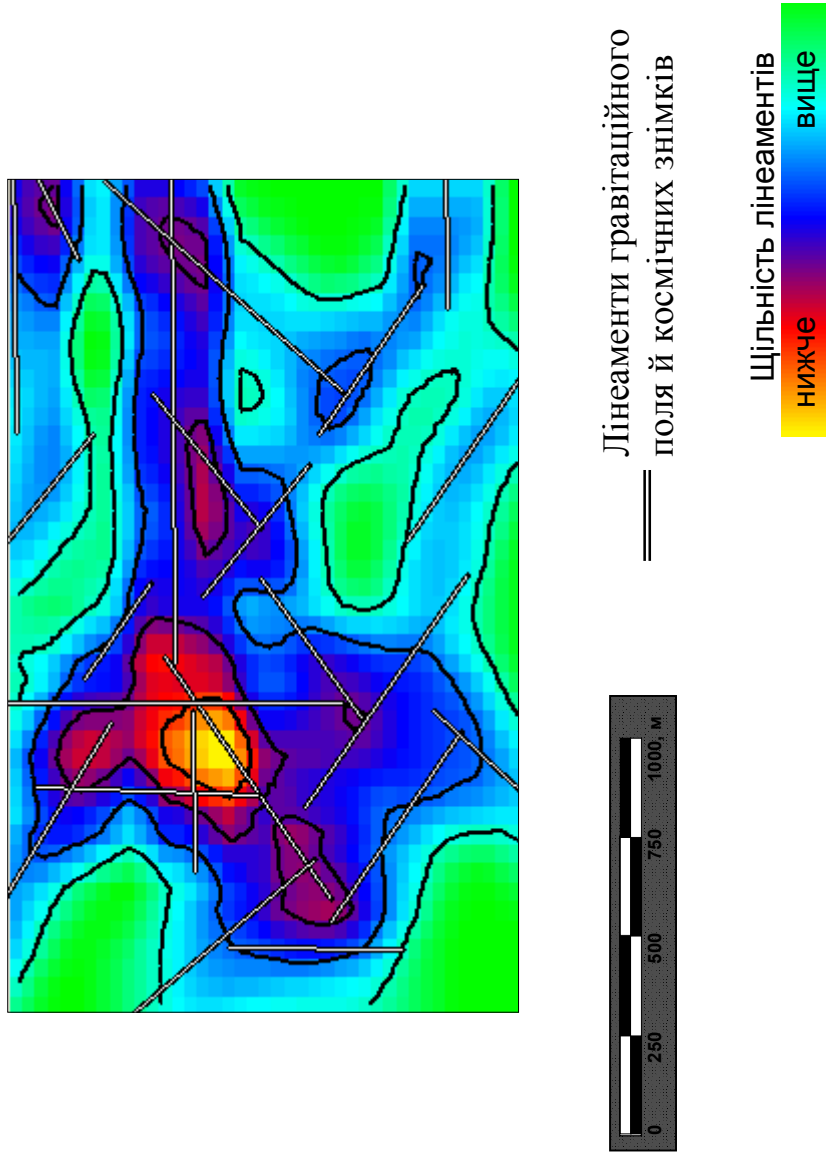
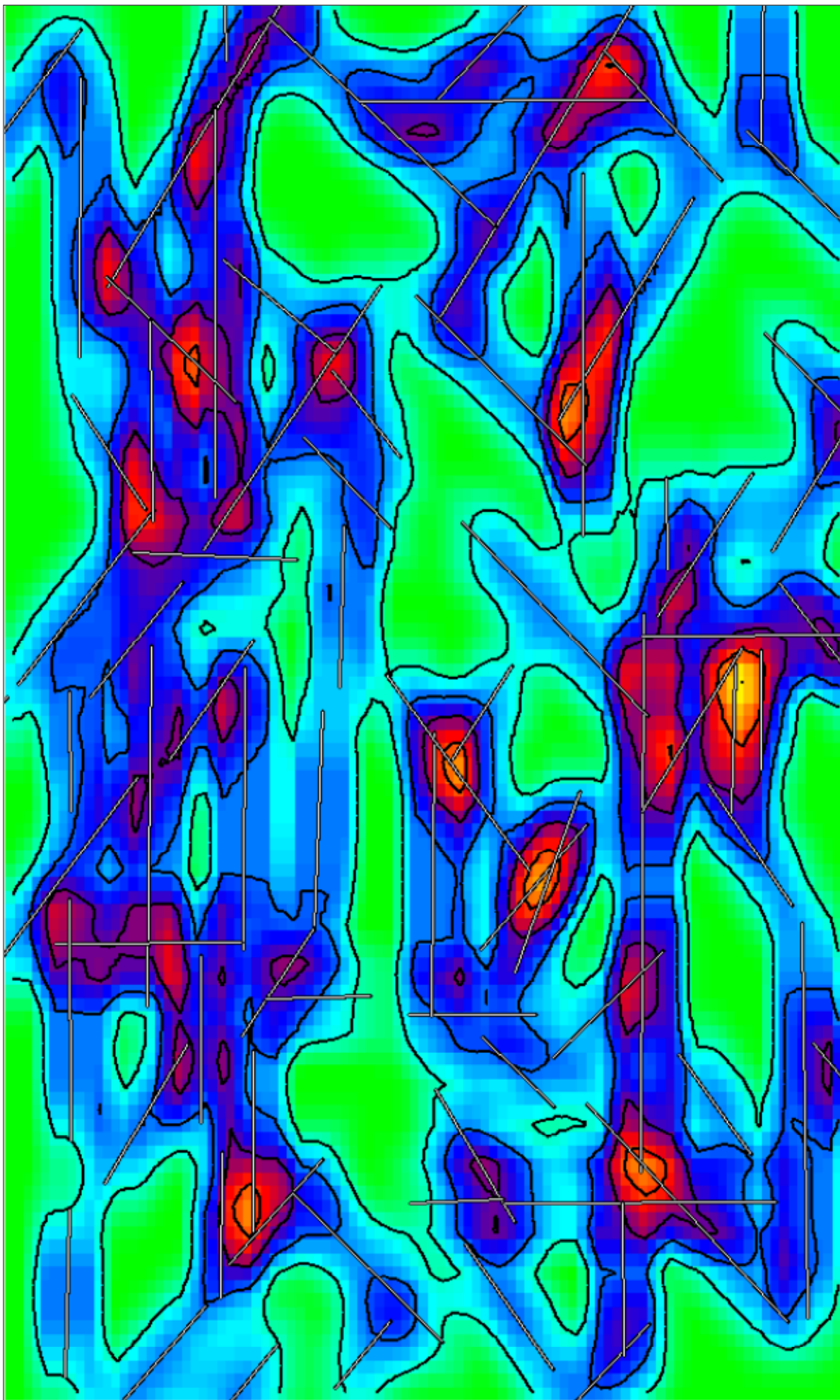


Рис. 3.26. Щільність лінеаментів на ділянці 2



Щільність лінементів
 НИЖЧЕ вище

Лінементи гравітаційного
 поля й космічних знімків

Рис. 3.27. Щільність лінементів на ділянці 3

Отримані карти щільності лінеаментів, беручи до уваги їхній тісний зв'язок із зонами підвищеної проникності кристалічного фундаменту й осадового чохла, сприятливими для формування покладів вуглеводнів, можуть бути використані як карти перспективності.

Однак, для підвищення надійності результатів прогнозу, доцільним представляється обчислення комплексного параметра перспективності, що представляє собою результати об'єднання:

- значень міри близькості території стосовно еталонних класів, проведені по дрібномасштабних матеріалах (далі - P_1);
- значення комплексного показника теплового поля P_2 (див. главу 3.1);
- карти щільності лінеаментів, побудовані за матеріалами масштабу 1:50000 (P_3).

Значення зазначених мір і показників попередньо приводилися до безрозмірного виду й нормувалися на розмах від 0 до 1.

Беручи до уваги більше високу інформативність великомасштабних матеріалів, для обчислення комплексного показника перспективності P використовувалася наступна формула:

$$P = 0.25 \cdot P_1 + 0.25 \cdot P_2 + 0.5 \cdot P_3$$

Контури зон, перспективних на виявлення покладів вуглеводнів промислового значення, і таких що рекомендуються для подальшого вивчення геолого-геофізичними методами, визначалися шляхом відсікання території зі значеннями $P < 0.75$.

Отримані карти з контурами найбільш перспективних зон наведені на рисунках 3.28-3.30. Вони можуть бути використані як основа при постановці подальших досліджень, виконуваних відповідними виробничими організаціями геологорозвідувальної галузі, на виявлення вуглеводневих структур промислового значення в межах Північного борту Дніпровсько-Донецької западини.

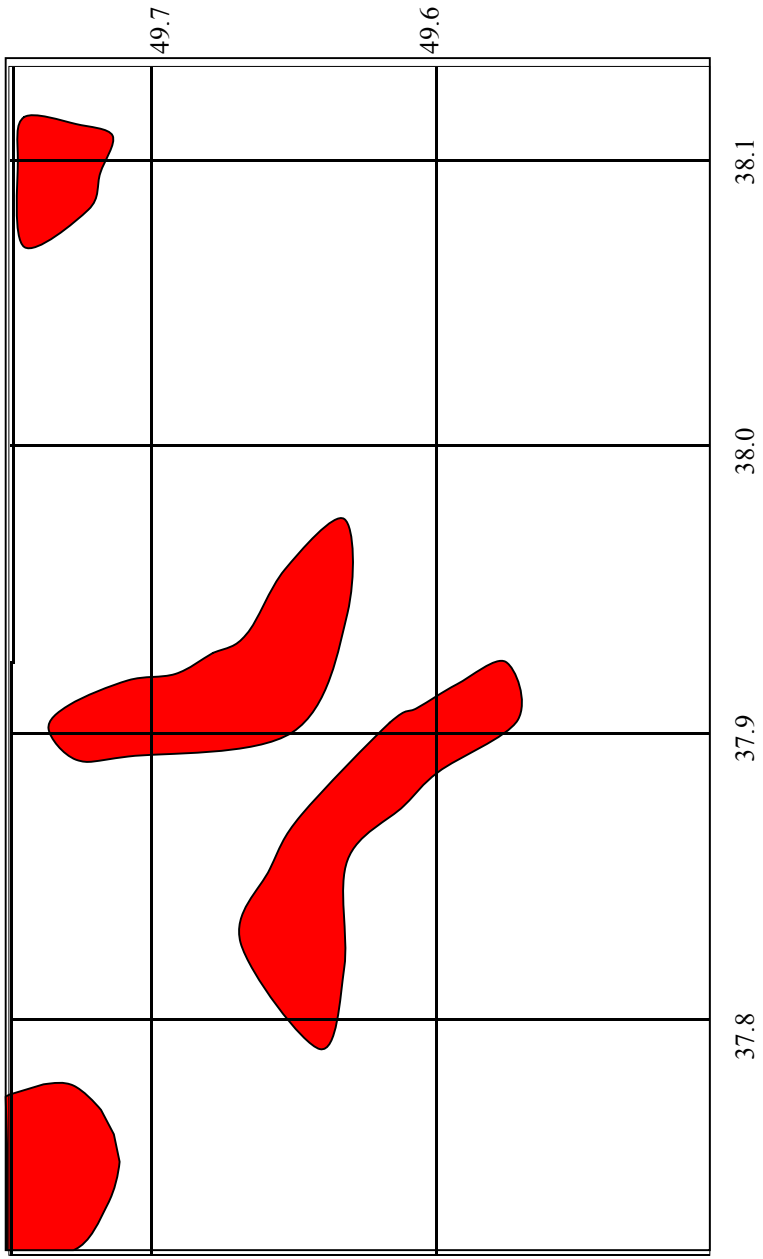


Рис. 3.28. Контури перспективних зон ділянки 1

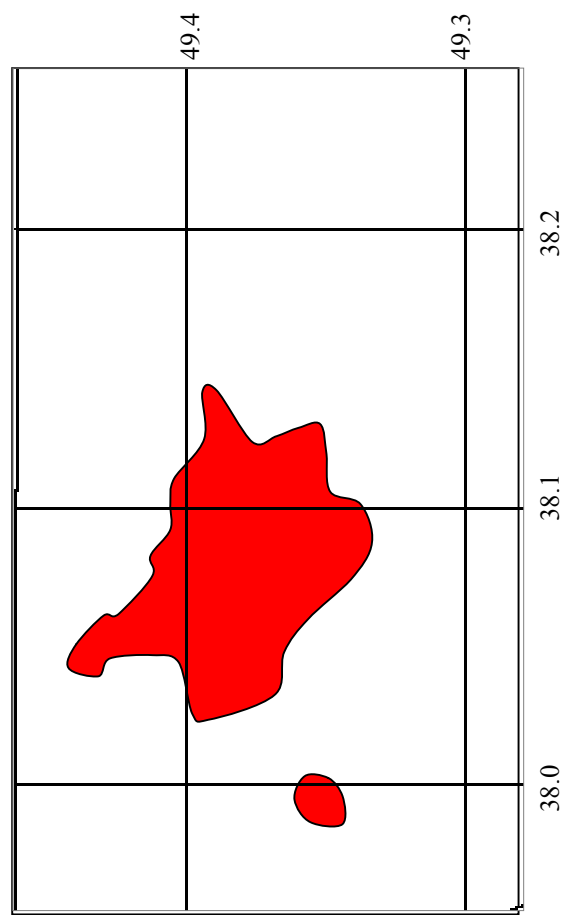


Рис. 3.29. Контури перспективних зон ділянки 2

ВИСНОВКИ

У ході виконання звітнього етапу були виконані наступні види робіт:

- виконаний збір і попередня обробка геолого-геофізичних і космічних матеріалів по північному борту Дніпровсько-Донецької западини. Виконана оцінка вірогідності й геологічної інформативності зібраних матеріалів. Сформована електронна база даних;

- з використанням сучасних геоінформаційних технологій виконаний інтегрований аналіз матеріалів на основі методів інтелектуального аналізу геоданих;

- побудована математична інтегральна прогнозна модель території північного борту ДДЗ, що послужила основою для виділення зон, найбільш перспективних на виявлення проявів нафтогазоносності кристалічного фундаменту;

- виділені ділянки для першочергового проведення прогнозних робіт у масштабі 1: 50000;

- проведена оцінка даних масштабу 1:50000 і виконана відповідна адаптація технологічного ланцюжка й конкретних методів з урахуванням масштабу досліджень;

- у межах виділених ділянок виконаний прогноз структур, перспективних на виявлення вуглеводневих структур промислового значення. Виділено контури зон, що рекомендуються для подальшого вивчення геолого-геофізичними (у першу чергу, сейсмічними) методами.

Отримані результату можуть використовуватися підприємствами геологорозвідувальної й нафтогазової галузей України, що займаються вивченням вуглеводневих покладів на відповідній території.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вассоевич Н. Б. Теория осадочно-миграционного происхождения нефти (исторический обзор и современное состояние) // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1967. – №11. – С. 135–156.
2. Порфирьев В. Б. Современные представления о генезисе и времени формирования залежей углеводородов // Геологическое строение и история развития платформенных областей Украины и Северо-Западной Африки в связи с проблемой нефтегазоносности фундамента. – Киев: Наук. думка, 1975. – С. 131–153.
3. Чебаненко И. И. Новая гипотезы и новые перспективы поисков нефтяных и газовых месторождений // Геол. жури. – 1981.–41, № 2. – С. 10–20.
4. Кудрявцев И. А. Нефть, газ и твердые битумы в изверженных и метаморфических породах. – Л.: Гостоптехиздат, 1959.–278 с.
5. Canny J. A computational approach to edge detection// IEEE Trans. PAMI. 1986. V. 8. P. 34-43.
6. Zlatopolsky A. Program LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis). Automated linear image features analysis - experimental results / A. Zlatopolsky // Computers & Geosciences, 1992. - v. 18, N 9. - p. 1121-1126.
7. Щепин М.В. Выявление геологических объектов на материалах космической съемки / М.В. Щепин, С.В.Евдокимов // Исслед. Земли из космоса. - 2008. - № 2. - С. 44–56.
8. Загубный Д.Г. Новая программа обработки векторных и растровых дистанционных материалов для ГИС // Исследование Земли из космоса. - 2004. - № 5. - С. 21–27.
9. Pivnyak G. Geoinformation System RAPID as the Means of Solving the Problems of Environment and Nature Management / G. Pivnyak, B. Busygin, S. Nikulin// 12th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production SWEMP 2010, May 24-26, 2010, Prague, Czech Republic

10. Анохин В.М. Характеристики глобальной сети планетарной трещиноватости / В.М. Анохин, И.А. Одесский // Геотектоника. – 2001. - №5, с.3-9.
11. Busygin B. The investigation of lineaments location regularity in mountain regions using the satellite images / B.Busygin, S. Nikulin // Proc. of IAMG MatGeoS-2008 Conference, Freiberg, Germany. – June 2008.
12. Говорова Н. Н. Использование цифровых моделей рельефа для анализа неотектонического строения территории (на примере района Чуйско-курайской зоны Горного Алтая) / Н. Н. Говорова, Д. Г. Загубный // Исследование Земли из космоса - № 6, Ноябрь-Декабрь 2006, С. 10-21
13. Никулин С.Л. Использование многоканальных космических снимков для линеamentного анализа территорий / С.Л.Никулин // Науковий вісник Державного ВНЗ «Національний гірничий університет». -2011.-№2.-С.62-68.
14. Айвазян С. А.. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин – М.: Финансы и статистика, 1989.- 607 с.
15. 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. – 8 p.
16. Busygin B., Nikulin S. The investigation of lineaments location regularity in mountain regions using the satellite images // Proc. of IAMG MatGeoS-2008 Conference, Freiberg, Germany. – June 2008. – Ел. носій. – 5 p.
17. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л. Изучение закономерностей расположения линеamentов по материалам детальных космических съемок // Геоинформатика. – 2008. – №3.– С. 35-43.
18. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Залесский В.В. Прогнозирование золоторудной минерализации в районе Сорокинской зеленокаменной структуры // Науковий вісник НГУ. –2006. –№3. –С.13-25

Додаток А

Витяг з протоколу № 5 засідання кафедри геоінформаційних систем

м. Дніпропетровськ

"5" грудня 2012 р.

Присутні: зав. кафедрою проф. Бусигін Б.С., проф. Саричева Л.В., проф. Коротенко Г.М., доц. Трусов В.О., доц. Дорошкевич В.К., доц. Бойко В.О., доц. Нікулін С.Л., доц. Гаркуша І.М., ас. Любченко М.А., ас. Качанов О.В., ас. Сергєєва К.Л., ас. Іванов Д.В.

Слухали: повідомлення доктора технічних наук, професора Бусигіна Б.С., наукового керівника теми ГП-445 "Прогнозування і оцінка вуглеводневих структур промислового значення в межах ДДЗ з використанням новітніх геоінформаційних технологій", який доповів про основні наукові та практичні результати виконаних досліджень.

Питання поставили: проф. Коротенко Г.М., проф. Саричева Л.В, доц. Гаркуша І.М., ас. Сергєєва К.Л., Іванов Д.В.

Ухвалили:

1. Вважати, що робота виконана в повному обсязі згідно з програмою, технічним завданням і календарним планом на 2012 рік.
2. Робота актуальна і має прикладний характер.
3. Науково-технічний рівень НДР відповідає сучасному рівню вітчизняних і світових розробок.
4. Наукове значення роботи: розроблено та вдосконалено теоретичні засади інтегрованого аналізу геолого-геофізичних даних та багатоканальних аерокосмічних геозображень при прогнозуванні нафтогазових покладів; досліджені можливості використання теплових космічних знімків для прогнозу нафти та газу у кристалічному фундаменті; вдосконалено методи й алгоритми лінеаментного аналізу; розроблено методику інтерактивного виділення лінеаментів.
5. Практичне значення роботи: вдосконалено та адаптовано ГІС-технологію інтегрованого аналізу різнорідних та різнорівневих геоданих РАПД для прогнозу і пошуків вуглеводневих об'єктів у масштабі 1:50000; виконано прогнозну оцінку перспективності кристалічного фундаменту північного схилу Дніпровсько-Донецької западини на відкриття нових вуглеводневих структур промислового значення.
6. Звіт по темі ГП-445 схвалити і рекомендувати до затвердження.

Завідуючий кафедрою ГІС,
д.т.н., професор

Бусигін Б.С.

Секретар, асистент

Сергєєва К.Л.

Додаток Б

Витяг з протоколу № 3 засідання секції «Інформаційні та телекомунікаційні системи» науково-технічної ради Національного гірничого університету

м. Дніпропетровськ

"14" грудня 2012 р.

ПРИСУТНІ: голова секції – д.т.н., професор Бусигін Б.С., заступник голови секції – к.т.н., вчений секретар секції – асс. Сергеева К.Л., професор Алексєєв М.О., д.т.н., професор Слесарєв В.В., д.т.н., професор Ткачов В.В., д.т.н., проф. Бабенко Т.В.

СЛУХАЛИ: доповідь наукового керівника теми ГП-445 "Прогнозування і оцінка вуглеводневих структур промислового значення в межах ДДЗ з використанням новітніх геоінформаційних технологій" (етап 2, заключний – "Прогнозування і оцінка вуглеводневих структур промислового значення в межах окремих ділянок ДДЗ в масштабі 1:50 000") завідувача кафедри геоінформаційних систем професора Бусигіна Б.С. про виконану у 2012 році роботу по темі ГП-445 та основні положення проміжного звіту НДР.

Доповідач відзначив, що етапи 2012 року роботи виконані у повному обсязі згідно з технічним завданням та календарним планом. За результатами роботи опубліковано 7 наукових праць.

ВИСТУПИЛИ: професор Слесарєв В.В., професор Ткачов В.В., які дали позитивну оцінку результатам виконаної роботи по темі ГП-445, відзначили, що етап роботи виконано у повному обсязі згідно з календарним планом та технічним завданням. Виступаючі відзначили актуальність роботи та рекомендували проміжний звіт з НДР ГП-445 за 2012 рік затвердити.

ВИРІШИЛИ:

1. Роботу по темі ГП-445 за 2011 рік виконано у повному обсязі згідно з календарним планом та технічним завданням.

2. Результати роботи по темі ГП-445 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-445 не містить відомостей, що можуть бути віднесені до винаходу або відкриття, а також відомостей, що становлять державну таємницю.

4. Заключний звіт НДР ГП-445 ухвалити та рекомендувати до затвердження.

Голова секції,
д.т.н., професор

Б.С. Бусигін

Вчений секретар секції

К.Л.Сергеева

Додаток В

Рецензія

на проміжний звіт по науково-дослідній темі

ГП-445 "Прогнозування і оцінка вуглеводневих структур промислового значення в межах ДДЗ з використанням новітніх геоінформаційних технологій"

Робота присвячена питанням прогнозу нових родовищ нафти та газу на території Дніпровсько-Донецької западини, що обумовлює її непересічну актуальність. Основними рисами роботи є широке застосування новітніх геоінформаційних технологій власної розробки та широкого кола космічних матеріалів – знімків у оптичному, радіохвильовому та тепловому діапазонах спектру. Це дозволяє істотно підвищити вірогідність результатів, що отримуються та перевести процес прогнозування на якісно новий технологічний.

Виконання робіт, зазначених у технічному завданні, базується на сумісному використанні наземних та космічних даних та їх інтегрованому аналізу за допомогою низки методів інтелектуального аналізу геоданих. Головним з цих методів є класифікація з вчителем, що дозволяє розподілити досліджувану територію на класи, або проранжувати її згідно з певними критеріями перспективності.

Дослідження провадились на території північного схилу Дніпровсько-Донецької западини, де в останні десятиріччя виявлено декілька десятків проявів нафти та газу в кристалічному фундаменті. Ці факти суперечать традиційним уявленням, а тому вимагають додаткових досліджень.

На першому етапі в межах великої частини північного схилу ДДЗ з використанням дрібномасштабних матеріалів виконувалось виділення окремих, найбільш перспективних ділянок. При цьому застосовувалися матеріали гравітаційних зйомок, цифрова модель рельєфу та теплові знімки місцевості. На другому етапі в межах трьох виділених ділянок виконувався прогноз за матеріалами масштабу 1:50000. В результаті були виділені декілька зон, найперспективніших на виявлення нових скопчень вуглеводнів.

У роботі використаний сучасний математичний апарат обробки зображень, розпізнавання образів, обчислювальної геометрії, лінеamentного, кластерного аналізу, багатовимірної шкалювання та інших методів інтелектуального аналізу геоданих.

Практична значимість роботи полягає у можливості використанні її результатів в системі Міністерства охорони навколишнього природного середовища, а також в відомствах і організаціях, що займаються питаннями пошуків та розвідки родовищ нафти і газу на території ДДЗ.

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

Д-р. геол. наук, професор,
декан геологорозвідувального факультету

Приходченко В.Ф.

Додаток Г**Акт впровадження**