

Міністерство освіти і наук України
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ДОЛИНСЬКИЙ ІГОР ПЕТРОВИЧ

УДК 681.518:553.98

ДИСЕРТАЦІЯ

**Програмні інструментальні засоби реалізації системи моделювання
геологічних об'єктів в умовах відсутності детальної інформації для їх
побудови**

01.05.03 "Математичне та програмне забезпечення
обчислювальних машин і систем"
технічні науки¹

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ І. П. Долинський

Науковий керівник (консультант) Гагарін Олександр Олександрович к.т.н.,
доцент

Київ – 2021

¹ Відповідно до Постанови КМУ «Про затвердження переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти» від 29 квітня 2015 р. №266.

АННОТАЦІЯ

Долинський І.П. Програмні інструментальні засоби реалізації системи моделювання геологічних об'єктів в умовах відсутності детальної інформації для їх побудови. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.03 "Математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем" – Відкритий міжнародний університет розвитку людини "Україна", Київ,

Сучасні дослідження в галузі нафтогазової геології обов'язково закінчуються побудовою тривимірної геологічної моделі, яка, в свою чергу, є основою для прийняття технологічних і фінансових рішень. Якщо проблему побудови моделей локальних об'єктів можна вважати вирішеною так як розроблена достатня кількість програмних продуктів (Petrel Schlemberger, Geographix Landmark та ін.), то питання побудови регіональних геологічних моделей, залишається поки відкритим. Під регіональною геологічною моделлю розуміється цифрову модель великої геологічної структури, в яку локальний об'єкт, як його складові частини, входять як структури вищого порядку. Для побудови цифрових моделей регіональних об'єктів необхідна розробка спеціального програмного забезпечення, яке враховувало б такий розподіл вихідної інформації яка буде здатна будувати адекватні моделі.

Дисертаційна робота присвячена розробці спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання регіональних геологічних моделей в галузі нафтогазової геології. В роботі проведено огляд існуючих геоінформаційних систем та сформульовані загальні вимоги до геоінформаційної системи в галузі нафтогазової геології та визначені структурні елементи геоінформаційної системи, необхідні для побудови та аналізу регіональних моделей. Вперше розроблено методику просторової кластеризації та класифікації регіональних геологічних моделей з виділенням локальних геологічних об'єктів в ГІС-середовищі та запропоновано використання методів просторової кластеризації та класифікації регіональних геологічних

моделей для картування об'єктів. Удосконалені засоби просторового аналізу регіональних геологічних об'єктів. Розроблено засоби візуалізації просторових моделей у вигляді зрізів, розрізів, аксонометричних проекцій, кубів властивостей. Побудовано цілісну автоматизовану геоінформаційну систему моделювання регіональних геологічних об'єктів на основі розроблених методів випробування якої проводилась на геологічних об'єктах головного нафтогазоносного району України – Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ).

Необхідність регіональних геологічних моделей витікає із того факту, що локальні об'єкти є підсистемами більш крупної системи, без вивчення якої залишаються непізнаними внутрішні закономірні зв'язки між самими об'єктами. Геологічними наслідками цього філософського твердження є наступні.

1) Модель регіонального об'єкту є першим джерелом інформації про походження, особливості будови, основні властивості локальних об'єктів, що входять до його складу (другим джерелом є моделі самих локальних об'єктів)

2) Модель регіонального об'єкту є основою для прогнозування та пошуків локальних об'єктів в діапазоні заданих властивостей

В роботі представлені функціональні можливості геоінформаційного експертно-моделюючого комплексу (ГМЕК), який забезпечує: створення моделей регіональних об'єктів, зберігання, оброблення та візуалізацію геолого-геофізичної інформації, просторовий аналіз моделей. Запропоновані підходи забезпечили можливість програмно реалізувати зручний для користувача програмний комплекс для побудови та аналізу регіональних геологічних об'єктів. Картографічний інтерфейс системи використовує загальноприйняту геологічну термінологію і орієнтований на фахівця геолога-геофізика. Система випробувана на реальному геологічному матеріалі.

ГМЕК реалізований у вигляді геоінформаційної системи регіонального моделювання геологічних моделей в галузі нафтогазової геології.

Випробування системи проводилося на геологічних об'єктах головної нафтогазоносної провінції України - Дніпровсько-Донецькій западині. Система складається з трьох комплексів програм, адаптованих або розроблених в середовищах Fortran, Delphi і інтегрованих в проект ArcView за допомогою DLL-технології. У функціональному відношенні розглянуті програмні комплекси, які входять до складу данної системи: 1) комплекс програм для побудови 2D моделей геологічних кордонів, литологічних і ємнісно-фільтраційних параметрів з урахуванням повного комплексу вихідної і апіорної інформації - Geomapping; 2) комплекс 3D візуалізації програм моделей; 3) комплекс програм просторового аналізу моделей (прийняття інженерних рішень). Відповідне програмне забезпечення створено на базі ГІС ArcView 3.х з використанням компіляторів Delphi і Fortran і існує у вигляді підсистеми спеціалізованої геоінформаційної системи моделювання геологічних об'єктів.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше сформульовані загальні вимоги до складу мінімально необхідного функціоналу геоінформаційної системи в галузі геології, які забезпечують вирішення типових задач нафтогазової геології та формально визначають структурні елементи комп'ютерної геоінформаційної системи побудови та аналізу моделей регіональних об'єктів, що дало змогу побудувати інструментальні програмні засоби видобування додаткової інформації для більш поглибленого аналізу доцільності геологічних досліджень.

2. Розвинуто ідею адаптувати методики просторової кластеризації та класифікації для створення та проведення аналізу моделей регіональних геологічних об'єктів в ГІС-середовищі, що дозволяє ефективно здійснювати пошук об'єктів в багатовимірному просторі за вказаними властивостями.

3. Адаптовано методики просторової кластеризації та класифікації регіональних геологічних моделей для виконання процедур картування об'єктів із заданими властивостями в просторі вибраних параметрів. Це дає

можливість будувати більш деталізовані карти розподілу кластерів на площині районів дослідження.

4. Алгоритмізовано метод парної просторової кореляції 2D моделей параметрів що дозволило спроектувати інструментальні засоби у вигляді окремих програм з можливістю значно поглибленого аналізу та надання більш ґрунтованих рекомендації щодо напрямків подальших геологічних досліджень.

5. Розроблено програмні засоби візуалізації просторових моделей у вигляді процедур побудови зрізів, розрізів, аксонометричних проекцій, кубів властивостей. Це дало можливість користувачам геологам робити більш наглядне обґрунтування проведення подальших геологічних робіт.

6. Створено цілісна технологічна схема дослідження властивостей моделей регіональних геологічних об'єктів, яка успішно пройшла апробацію та використовується для подальшого проектування системи прийнять рішень у галузі нафтогазової геології.

Система регіонального геологічного моделювання повинна задовольняти певним вимогам щодо функціональності. На нашу думку, функціональна частина системи складатися з трьох комплексів програм:

- Комплексу програм 2D моделювання. Програми побудови 2D моделі повинні працювати з різномірною вихідною інформацією і давати можливість використання апріорної інформації у формі картографічних матеріалів (ґридів або цифрових карт в ізолініях, апріорних точок з вихідною інформацією)
- Комплексу програм просторового аналізу 2D моделей.
- Комплексу програм 2D і 3D візуалізації.

Апробація комплексу програм регіонального геологічного моделювання і візуалізації проводилась на геологічних об'єктах головного нафтогазоносного району України – Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). В тектонічному відношенні ДДЗ є авлакогеном – витягнутою вузькою западиною, обмеженою глибинними тектонічними порушеннями і заповненою осадовими товщами верхньопалеозойського та мезо-

кайнозойського віку. За існуючим геолого-тектонічним районуванням ДДз поділяється на Північний борт, Південний борт та Центральний грабен. В межах Центрального грабену виділяють північну та південну прибортові зони. Основна частина родовищ вуглеводнів зосереджена в Центральному грабені. В межах названих структур виділяють тектонічні елементи вищого порядку – групи валів і западин. Три з цих тектонічних елементів були об'єктами для апробації розробленого і програмно реалізованого комплексу методів регіонального моделювання і оперування регіональними моделями. Вибір визначався наявною свідловинною інформацією і прагненням продемонструвати працездатність комплексу в різних геологічних умовах.

Ключові слова: експертно моделююча система, нафтогазова геологія, геоінформаційна система, числові регіональні моделі, просторовий аналіз, 2D-3D візуалізація.

ABSTRACT

Dolinskiy I.P. Software tools implementation of modeling of geological objects in the conditions of lack of detailed information. - Manuscript.

The thesis for the scientific degree of candidate of science on specialty 01.05.03 "Mathematical and software of computer machines and systems" – Open international university of human development "Ukraine", Kiev.

Current studies in Petroleum Geology necessarily end with the construction of three-dimensional geological model, which in turn is the basis for the adoption of technological and financial decisions. If the problem of constructing models of local objects can be solved as developed enough software (Petrel Schlemberger, Geographix Landmark et al.), the question of building regional geological models, remains open. Under the regional geological model, we understand the digital model of large geological structure in which local sites that are part of it, is a higher order structure. To build digital models of regional facilities necessary to develop special software that takes into account the distribution of such initial information and was able to build an adequate model.

The thesis is devoted to the development of specialized software for modeling regional geological models in Petroleum Geology. In this paper, a review of existing GIS and sets out the general requirements for geographic information system in the field of petroleum geology and structural elements identified geographic information systems necessary for the construction and analysis of regional models. For the first time the technique of spatial clustering and classification of regional geological models with the release of local geological objects in GIS environment and suggested the use of methods of spatial clustering and classification models for regional geological mapping objects. Improved spatial analysis of regional geological objects. Developed visualization of spatial patterns in the form of cuts, sections, axonometric projections Cube properties. We construct a complete automated geographic information system modeling regional geological objects based on methods developed test which was conducted on geological sites of major oil province Ukraine - the Dnieper-Donets depression (PPD).

Need regional geological models stems from the fact that local facilities are subsystems of larger systems without the study of which remain unidentified Inside the relationships between objects themselves. Geological results of this philosophical argument is as follows.

1) Regional Model object is the first source of information about the origin, structural features, the basic properties of local sites that are part of it (the second source is the same model of local facilities)

2) regional model object is the basis for predicting and finding local sites within the range specified properties

The paper presents the functionality of geo-modeling expert complex (HMEK), which provides: creating models of regional facilities, storage, processing and visualization of geological and geophysical data, spatial analysis models. The approaches provide an opportunity to implement the program is user-friendly software for the construction and analysis of regional geological sites. Mapping interface system using conventional geological terminology and focuses

on professional geologist-geophysicist. The system is tested on a real geological materials.

HMEK implemented as a geographic information system modeling of regional geological models in Petroleum Geology. The test system was conducted on geological features main oil province Ukraine - Dnieprovsko-Donetska basin. The system consists of three complex programs adapted or developed in environments Fortran, Delphi and ArcView integrated into the project via DLL-technology. In functional terms considered software systems, which are part of the system: 1) a set of programs to build 2D models of the geological boundaries lytological and capacitive-filtration parameters given full range output and a priority information - Geomapping; 2) visualize complex 3D models of Programs; 3) complex applications of spatial analysis models (adoption engineering solutions). The corresponding software is based on GIS ArcView 3.n using Fortran compilers and Delphy and exists as a subsystem specialized geographic information system modeling of geological objects.

Scientific novelty of the results.

1. For the first time, general requirements for the minimum required functionality of a geographic information system in the field of geology were formulated, which provide solutions to typical problems of oil and gas geology and formally determine the structural elements of a computer geographic information system for building and analyzing models of regional objects. information for a more in-depth analysis of the feasibility of geological research.

2. The idea of adapting methods of spatial clustering and classification for the creation and analysis of models of regional geological objects in the GIS environment, which allows you to effectively search for objects in a large dimension by the specified properties.

3. Adapted methods of spatial clustering and classification of regional geological models to perform procedures for mapping objects with specified properties in the space of selected parameters. This makes it possible to build more detailed maps of cluster distribution in the plane of the study areas.

4. The methods of spatial clustering and classification of regional geological models have been adapted to perform procedures for mapping objects with specified properties in the space of selected parameters. This makes it possible to build more detailed maps of cluster distribution in the plane of the study areas.

5. Software tools for visualization of spatial models in the form of procedures for constructing sections, sections, axonometric projections, property cubes have been developed. This allowed geological users to make a more visual justification for further geological work.

6. An integrated technological scheme for studying the properties of models of regional geological objects has been created, which has been successfully tested and used for further design of the decision-making system in the field of oil and gas geology.

Regional geological modeling system must meet certain requirements for functionality. In our opinion, the functional part of the system consists of three complexes of programs:

- Complex applications 2D modeling. 2D model building program should work with heterogeneous initial information and enable the use of a priority information in the form of cartographic materials (grid or digital maps in isolines, a priority points of output information)
- Complex spatial analysis software 2D models.
- Complex programs 2D and 3D visualization.

Complex programs testing of regional geological modeling and geological objects visualization held in the main oil province Ukraine - the Dnieprovsko-Donetska depression (PPD). In tectonically PPD is avlakogene - elongated narrow depression bounded by deep faults and filled with sedimentary strata of Upper - Paleozoic and Meso-Cenozoic age. Under existing geological and tectonic zoning PPD divided the North side, South side and the Central Graben. Within the Central Graben isolated northern and southern harbov zone. The bulk of the hydrocarbon deposits are concentrated in the Central Graben. Within these structures produce

higher order tectonic elements - groups. Three of these tectonic elements were objects for testing software developed and implemented complex methods of regional modeling and regional operating models. The choice was determined well available information and the desire to demonstrate the performance of various complex geological conditions.

Keywords: expert system modeling, petroleum geology, geographic information system, including regional models, spatial analysis, 2D-3D visualization.

Список публікацій здобувача

Монографія:

1. Гагарін О.О. Методика побудови 3D – моделей геологічних розрізів за даними 2D – моделей / Гагарін О.О., Долинський І.П. // Інформаційне і програмне забезпечення системи моніторингу стану довкілля у зоні впливу атомних електростанцій; за загальною редакцією С. О. Лук'яненка. – К.: Видавничо-поліграфічне підприємство "ТЕКСТ", 2015. – С. 42-47.

2. Гагарін О.О. Системи побудови та проведення аналізу 3D – моделей регіональних об'єктів / Гагарін О.О., Долинський І.П. // Інформаційне і програмне забезпечення системи моніторингу стану довкілля у зоні впливу атомних електростанцій; за загальною редакцією С. О. Лук'яненка. – К.: Видавничо-поліграфічне підприємство "ТЕКСТ", 2015. – С. 72-79.

Статті у наукових фахових виданнях України:

(які входять до переліку ВАК/ МОН України)

1. Долинський І. П. Геоінформаційні системи в нафтогазовій геології. Досвід та перспективи використання / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Мінеральні ресурси України. - К.: УкрДГРІ, 2012. - №1. - С. 33-34

2. Долинський, І. П. Засоби 3D візуалізації регіональних структурно-літологічних моделей нафтогазової геології. / І. П. Долинський,

О. П. Лобасов // Мінеральні ресурси України. - К.: УкрДГРІ, 2012. - №2. С. 20-22

3. Долинський І. П. Метод побудови та візуалізація стратиграфічного куба / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Вісник Університету "Україна". Серія "Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика" / Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". — К. : Ун-т "Україна", 2015. – Вип. 1(17). – С 147-152

4. Долинський, І., Гагарін, О., & Лобасов, О. (2020). Розробка засобів візуалізації цифрових моделей геологічних об'єктів в середовищі геоінформаційної системи arcview 3.п. Проблеми та перспективи нафтогазової промисловості, 1(4), 40-55. <https://doi.org/10.32822/naftogazscience.2020.04.040>

*Статті у наукових фахових виданнях України,
які входять до міжнародних наукометричних баз даних:
(за умови, що на момент публікації статті видання вже внесене до міжнародної
наукометричної бази даних)*

1. Долинський, І. П. Математичне і технологічне забезпечення 3D геологічного моделювання в ГІС середовищі. / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Геоінформатика. - К.: НАНУ, ін-т геологічних наук, 2013. - № 1. - С. 49-53

2. Долинський І. П. Апробація комплексу програм 3D регіонального моделювання на прикладі геологічних об'єктів Дніпровсько-Донецької западини / І. П. Долинський // Геоінформатика. - 2014. - № 4. - С. 37-47

3. Долинський І. П. Геоінформаційний експертно-моделюючий комплекс дослідження регіональних моделей в геології /Долинський І. П. // Вісник Київського національного університету. Геологія. – 2017 р. – Вип. 4(79). – С. 86-91

Статті в іноземних виданнях:

*(тільки закордонні періодичні (ISSN) наукові фахові видання;
статті у міжнародних збірниках за матеріалами конференцій, навіть
внесені до SCOPUS чи ін. міжнародної наукометричної бази даних сюди не
входять)*

1. Долинский И. П. Применение алгоритмов пространственной классификации и кластеризации в задаче прогноза нефтегазоносности / И. П. Долинский, А. П. Лобасов // Геоинформатика. – М.: ФГУП ГНЦ РФ "ВНИИгеосистем", 2014. - № 1. – С. 64-70

Статті в інших виданнях:

*(статті у неперіодичних збірниках наукових праць (ISBN), у т.ч. статті у
збірниках за матеріалами конференцій)*

1. Долинський І. П. Лінійна інтерполяція на триангульованій області як метод побудови 2D моделей параметрів за відсутності апріорної інформації / І.П. Долинський, О.П. Лобасов, В.М. Огарков // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: збірник наукових праць. – 2015. – Вип. 12. – С. 95-102.

Тези наукових доповідей:

1. Долинський І. П. Засоби візуалізації регіональних цифрових геологічних моделей в ГІС-середовищі. / Долинський І. П., Лобасов О. П. [Електронний ресурс] // Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти: ІХ Міжнар. конф., 11-14 трав. 2010 р.: тези.

2. Долинський, І. П. Застосування засобів 3D візуалізація на прикладі регіональної структурної моделі мезозойських відкладів однієї з ділянок Дніпровсько-Донецької западини. / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Комп'ютерні технології: наука і освіта : тези доп. : VIII Всеукр. наук.- практ. конф. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". – К., 2013. – С. 27-32

3. Долинський І. П. Методи та програмно-алгоритмічні засоби побудови моделей параметрів за відсутності апріорної інформації / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Комп'ютерні технології: наука і освіта : тези доп. : IX Всеукр. наук.- практ. конф. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". – К., 2015. – С. 23-25

4. Долинський І. П. Методи побудови та дослідження характеристик геологічних об'єктів за відсутності апріорної інформації / І. П. Долинський // Комп'ютерні технології: наука і освіта : тези доп. : X Всеукр. наук.- практ. конф. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". – К., 2017. – С. 23-24

5. Долинський І. П. Геоінформаційний експертно-моделюючий комплекс оцінки регіональних моделей в геології / Долинський І. П. [Електронний ресурс] // Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти: XVI Міжнар. конф., 15-17 трав. 2017 р.: тези.

6. Dolinskiy, I.P., Haharin, A.A., Lobasov, A.P. Application of methods and software-algorithmic means for simulation of geological objects constructed in the absence of a priori information // 18th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied

7. Dolinskiy, I.P., Haharin, A.A., Lobasov, A.P. Specialized gis for construction and analysis of digital models of regional line geological objects. visualization means. // 19th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied

ЗМІСТ

ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1 ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ГЕОЛОГІЇ. ДОСВІД ТА ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ.	22
1.1. Огляд спеціалізованих геоінформаційних систем в геології	22
1.2. Огляд геоінформаційних систем в галузі нафтогазової геології	29
1.2.1. Програмний пакет Petrel.....	30
1.2.2. Програмне забезпечення Geographix	31
1.2.3. Інтерпретаційне програмне забезпечення KINGDOM.....	32
РОЗДІЛ 2 ВИМОГИ ДО ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РЕГІОНАЛЬНОГО ГЕОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	36
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РЕГІОНАЛЬНОГО ГЕОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	42
3.1 Інтегровані середовища розробки прикладних систем. Обґрунтування оптимального вибору середовища розробки	42
3.1.1. Інтегрована ГІС система MapInfo	42
3.1.1.1. Основні функціональні можливості MapInfo	43
3.1.1.2. Формати даних.....	45
3.1.1.3. Зв'язок з базами даних.....	45
3.1.1.4. Засоби розробки додатків	46
3.1.2. Геоінформаційна система ArcView.....	50
3.1.2.1. Основні функціональні можливості ArcView.....	51
3.1.2.2. Формати даних.....	52
3.1.2.3. Зв'язок з базами даних.....	53
3.1.2.4. Засоби розробки додатків	53
3.2. Проектування та програмна реалізація методів побудови цифрових моделей регіональних геологічних об'єктів	55
3.2.1. Алгоритми побудови 2D моделей параметрів.....	55
3.2.2. Ітераційна апроксимація із застосуванням техніки автоаналога	56
3.2.3. Лінійна інтерполяція на тріангульованій області	57
3.3. Проектування та програмна реалізація методів просторового аналізу цифрових моделей регіональних геологічних об'єктів	64
3.3.1. Парна просторова кореляція 2D моделей параметрів	64
3.3.2. Просторова кластеризація	66
3.3.3. Просторова класифікація	71
3.4. Проектування та програмна реалізація методів візуалізації цифрових моделей регіональних геологічних об'єктів	72
3.4.1. Алгоритм побудови горизонтального зрізу	74
3.4.2. Алгоритм побудови вертикального зрізу.....	76
3.4.3. Алгоритм побудови аксонометричної проекції	78
3.4.4. Алгоритм побудови структурно-літологічного куба	81
РОЗДІЛ 4 АПРОБАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РЕГІОНАЛЬНОГО ГЕОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	85
4.1. Талалаєвсько-Артюхівська група структур	87
4.2. Срібненська западина.....	98
4.3. Лесяківсько-Гнідинцівська група структур	110
ВИСНОВКИ.....	122
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	125
ДОДАТКИ.....	130

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. В останні роки в галузі геології відбувається науково-технічна революція, викликана усвідомленням необхідності кількісного переосмислення маси фактичного матеріалу, накопиченого в ході геологічних досліджень. З одного боку це пов'язано з вдосконаленням теорії аналізу геологічних процесів і методики інтерпретації геолого-геофізичних матеріалів. З іншого бурхливо розвивається напрямок використання геоінформаційних системи (ГІС), які розглядаються як найперспективніший напрямок в галузі обробки та аналізу просторової інформації.

Геоінформаційні системи є найкращим середовищем для дослідження геологічних процесів та об'єктів, тому що інформаційний простір в геології по своїй природі картографічний, тобто всі дані мають просторову прив'язку. Аналіз геолого-геофізичних матеріалів потребує побудови та використання числових моделей геологічних об'єктів різних рівнів деталізації.

Числова (цифрова) модель геологічного об'єкту є результатом його вивчення і основою планування подальших операцій з ним (наприклад, розробка корисних копалин, пов'язаних з об'єктом). За звичай у геології прийнято визначати локальні та регіональний об'єкти.

Локальні геологічні об'єкти мають згущений каркас даних, як правило, охарактеризовані густою мережею свердловин та сейсморозвідувальних профілів. Для побудови цифрових моделей локальних об'єктів, які характеризуються рівномірним і щільним розподілом вихідної інформації, розроблена достатня кількість програмних продуктів (Petrel Schlumberger, Geographix Landmark та ін.).

Регіональні геологічні об'єкти мають розгалужений каркас даних и включають в себе як локальні об'єкти, так і між об'єктний простір, в якому геолого-геофізична інформація відсутня і характеризуються нерівномірним розподілом інформації. Спеціалізовані системи моделювання та дослідження таких об'єктів практично повністю відсутні. Однак їх необхідність очевидна

виходячи з необхідності наукового узагальнення локальних досліджень та створення цілісної наукової картини регіонального об'єкту.

Отже, на сьогодні є актуальним роботи пов'язані з дослідженнями методів побудови засобів маніпулювання та візуального аналізу регіональних об'єктів, узагальнення основних принципів розробки та загальних вимог, яким повинна задовольняти будь-яка система, для потреб аналізу геоданих.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Розроблені в роботі методи та засоби моделювання регіональних геологічних об'єктів при умові відсутності апріорної інформації пов'язані з роботою, що здійснювалася на кафедрі “АПЕПС” НТУУ “КПІ”: “Автоматизація моніторингу гідрохімічного стану підземних вод АЕС” (№ ДР 0115U000329, 2016)

Мета і завдання дослідження.

Мета дисертаційної роботи - визначення раціонального набору функцій геоінформаційної системи для проведення математичного (цифрового) моделювання в галузі нафтогазової геології та розробка алгоритмів і програмних засобів побудови, аналізу та візуалізації 3D моделей геологічних об'єктів.

Для досягнення мети визначені наступні задачі досліджень:

- сформулювати загальні вимоги до геоінформаційної системи в галузі нафтогазової геології та визначити основні принципи її побудови;
- провести аналіз засобів та методів моделювання геологічних об'єктів та вибрати оптимальні з точки зору загальних вимог до геоінформаційної системи;
- розробити засоби просторового аналізу регіональних геологічних моделей в т.ч. удосконалити методи просторової кластеризації та класифікації локальних геологічних об'єктів;
- розробити засоби візуалізації моделей у вигляді зрізів, розрізів, аксонометричних проекцій, кубів властивостей;
- побудувати автоматизовану геоінформаційну систему моделювання регіональних геологічних об'єктів на основі розроблених методів.

Об'єкт дослідження – засоби та методи моделювання геологічних об'єктів автоматизовані системи моделювання та комплексного аналізу моделей регіональних геологічних об'єктів в галузі нафтогазової геології.

Предмет досліджень - методи побудови моделей регіональних геологічних об'єктів, їх візуалізації та комплексного аналізу.

Методи дослідження. У процесі реалізація поставленої мети здійснювалися звісні процедури: пошуку, аналізу, синтезу та вироблення рішень щодо розробки та програмної реалізації спеціалізованої комп'ютерної системи наступними методами:

- ітераційної сплайн-апроксимації та ітераційної лінійної інтерполяції на триангульованій області при побудови 2D моделей числових параметрів;
- процедур кореляції та регресії при створенні та виділенні тренду і локальної складової у статистичному аналізі 2D моделей числових параметрів;
- просторової кластеризації з виділенням об'єктів, однорідних в просторі вибраних параметрів при виконанні процедур картування об'єктів;
- просторової класифікації при виконанні пошуку об'єктів із заданими властивостями в просторі вибраних параметрів;
- 3D візуалізації моделей у вигляді поверхонь їх окремих компонентів, горизонтальних зрізів, вертикальних розрізів, аксонометричних проекцій, кубів властивостей.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Встановлено, що існуючі ГІС системи та програмне забезпечення в галузі нафтогазової геології не мають чітко сформованих вимог функціонального наповнення таких систем. Автором запропоновано оптимальний набір функціональних вимог до систем такого класу а саме:

- наявність методик та засобів реалізації створення моделей регіональних об'єктів, які за звичай не мають достатньої кількості якісної інформації для їх побудови;

- наявність методик та засобів виконання процедур просторового аналізу включаючи просторові кластеризацію та класифікацію об'єктів за комплексом ознак;
- наявність візуальних інструментів користувача для побудови та проведення досліджень 2D та 3D цифрових моделей об'єктів нафтогазової галузі з простим та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом.

2. Запропоновані вимоги дозволили сформувати мінімальний функціональний набір програмних засобів роботи з цифровими моделями геологічних об'єктів при виконанні типових процедур їх дослідження та визначити структурний склад програмних компонентів (підсистем):

- підсистема 2D моделювання;
- підсистема просторового аналізу моделей;
- підсистема візуалізації 2D і 3D моделей геологічних об'єктів.

3. Розроблено методику створення цифрових моделей регіональних об'єктів на основі згущення каркаса опорних точок її побудови, що дозволяє вирішувати задачу моделювання в умовах недостатньої інформації..

4. В результаті аналізу засобів просторового аналізу регіональних геологічних об'єктів запропоновано низка методик їх вдосконалення на основі парної просторової кореляції та регресії параметрів 2D моделей. При цьому, регресійні залежності використовуються в областях високої кореляції. При виконанні цих процедур робиться автоматизований розрахунок об'ємів виділених в геологічному тілі об'єктів та розрахунок екстремальних і середніх значень їх параметрів

5. Розвинуто ідеї використання методів просторової кластеризації для процедур виділення в геологічному тілі об'єктів, однорідних в полі визначених геолого-геофізичних параметрів.

6. Удосконалено методику пошуку в геологічному тілі об'єктів із заданими властивостями на базі просторової класифікація що забезпечило прискорення побудови моделі регіональних об'єктів.

7. Запропоновано набір інструментальних засобів візуального дослідження моделі регіонального об'єкта, який значно покращив можливість отримання додаткових даних для надання рекомендацій щодо напрямків подальших геологічних досліджень сформованих об'єктів.

8. В результаті використання запропонованих методик з'явилась можливість розроблення засобів візуалізації цифрових просторових моделей у вигляді зрізів, розрізів, аксонометричних проекцій, кубів властивостей, які дозволяють отримати більш наглядне обґрунтування для організації подальших геологічних робіт.

9. На базі запропонованих методик та програмних засобів їх реалізації побудована цілісна спеціалізована система для дослідження властивостей регіональних геологічних об'єктів, яка успішно пройшла апробацію на геологічних об'єктах головного нафтогазоносного району України – Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) та надала впевненості у коректності проведених досліджень дисертаційної роботи.

Результати, що виносяться на захист/

1. Вперше сформульовані загальні вимоги до складу мінімально необхідного функціоналу геоінформаційної системи в галузі геології, які забезпечують вирішення типових задач нафтогазової геології та формально визначають структурні елементи комп'ютерної геоінформаційної системи побудови та аналізу моделей регіональних об'єктів, що дало змогу побудувати інструментальні програмні засоби видобування додаткової інформації для більш поглибленого аналізу доцільності подальших геологічних досліджень.

2. Розвинуто ідею адаптувати методики просторової кластеризації та класифікації для створення та проведення аналізу моделей регіональних геологічних об'єктів в ГІС-середовищі, що дозволяє ефективно здійснювати пошук об'єктів в багатовимірному просторі за вказаними властивостями.

3. Адаптовано методики просторової кластеризації та класифікації регіональних геологічних моделей для виконання процедур картування

об'єктів із заданими властивостями в просторі вибраних параметрів. Це дає можливість будувати більш деталізовані карти розподілу кластерів на площині районів дослідження.

4. Алгоритмізовано метод парної просторової кореляції 2D моделей параметрів що дозволило спроектувати інструментальні засоби у вигляді окремих програм з можливістю поглибленого аналізу та надання більш ґрунтованих рекомендації щодо напрямків подальших геологічних досліджень.

5. Розроблено програмні засоби візуалізації просторових моделей у вигляді процедур побудови зрізів, розрізів, аксонометричних проекцій, кубів властивостей. Це дало можливість користувачам геологам робити більш ґрунтовне заключення щодо проведення подальших геологічних робіт.

6. Створено цілісна технологічна схема дослідження властивостей моделей регіональних геологічних об'єктів, яка успішно пройшла апробацію та використовується для подальшого проектування системи прийнять рішень у галузі нафтогазової геології.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи підтверджується: коректністю постановки і рішення задач; застосуванням сучасних методів теоретичного аналізу з урахуванням загальноприйнятих допущень; проведенням експериментальних досліджень з використанням апробованих методик, погодженістю результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що створено проект повнофункціональної геоінформаційної системи для побудови та аналізу числових моделей регіональних геологічних об'єктів в галузі нафтогазової геології. Макет програмного комплексу включає засоби побудови та візуалізації просторових моделей у вигляді зрізів, розрізів, аксонометричних проекцій, кубів властивостей. Робота програмної системи була використана при проведенні робіт госпдоговору “Автоматизація моніторингу гідрохімічного стану підземних вод АЕС” (№ ДР 0115U000329,

2016) та апробована спеціалістами геологами при дослідженні групі структур Дніпровсько-Донецької западини.

Даний геоінформаційний проект для побудови та дослідження властивостей регіональних моделей був успішно апробований на групі структур Дніпровсько-Донецької западини та використався в ДП «Науканафтогаз» при виконанні науково-дослідних робіт з геологічної тематики.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві полягає в розробці засобів візуалізації регіональних цифрових геологічних моделей в ПС-середовищі [19-21], дослідженні перспектив використання геоінформаційних систем в нафтогазовій геології [18], розробці технологічного забезпечення 3D геологічного моделювання [10,22], визначенні задач аналізу регіональних моделей та алгоритмів їх розв'язання [2,3,11-17,34].

Апробація результатів дисертації.

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на 7 науково-практичних конференціях. Серед них: VIII, IX, X Всеукраїнська науково-практична конференція "Комп'ютерні технології: наука і освіта" (Київ 2013 р. 2015 р., 2017 р.), IX, XVI, XVIII, XIX Міжнародна конференція "Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти" (Київ 2010 р., 2017 р., 2019 р., 2020 р.).

Публікації. За матеріалами досліджень опубліковано 18 статей у наукових журналах, збірниках праць та тез доповідей, з них 17 публікацій – у фахових виданнях України та 1 стаття у закордонному фаховому виданні. (з них 4 статті без співавторів).

РОЗДІЛ 1

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ГЕОЛОГІЇ.

ДОСВІД ТА ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ.

Першими в межах напрямку геоінформаційних технологій були універсальні системи, які служать для оперування просторовою інформацією і розв’язання різноманітних задач в різних галузях науки та виробництва. Одними з найбільш вдалих систем цього типу є програмні продукти серії ArcView-ArcInfo-ArcGIS та MapInfo. Універсальні системи мають функціонально різноманітний інтерфейс користувача, проте головне їх значення полягає в наявності потужних засобів розробки спеціалізованих вузькоорієнтованих систем з розширеним арсеналом можливостей порівняно із стандартними для вирішення специфічних задач. Сьогодні багато розробників програмного забезпечення, які працюють в галузі геоінформаційних технологій створюють свої середовища розробки, починаючи з нижнього рівня, які мають розвинутий інтерфейс розробника та користувача і підтримують формати даних, які стали стандартами в світі геоінформаційних систем.

1.1. Огляд спеціалізованих геоінформаційних систем в геології

В табл. 1-2 наведено приклади геоінформаційних систем для розв’язання геологічних задач різної спрямованості, розроблених в Україні і в світі [6]. Більшість систем розробляються з нижнього рівня з метою ліцензійної незалежності. На сьогодні цих систем сотні, тому тут ми можемо навести тільки приклади.

Таблиця 1

Приклади спеціалізованих геоінформаційних систем в геології та
екології (призначення)

Назва програмного продукту	Призначення
K-MINE ®	Оперативне маркшейдерське забезпечення для підприємств, які використовують відкритий спосіб відпрацьовування родовищ; оперативне маркшейдерське забезпечення для підприємств, які використовують підземний спосіб відпрацьовування родовищ; геодезична зйомка територій, підготовка карт; оперативне маркшейдерське забезпечення при веденні генпланів підприємств; спостереження за деформаціями земної поверхні.
Інформаційна система "Віддалений моніторинг буріння" (ІС ВМБ)	Забезпечення диспетчерського контролю і оперативного управління процесом будівництва свердловин експлуатаційного, пошукового і розвідувального буріння
Програма тривимірної візуалізації даних "Petroplast3D"	Програма тривимірної візуалізації даних "Petroplast3D" призначена для тривимірної візуалізації сейсмічних, геологічних, геолого-геофізических даних.
Easy Trace Pro	Пакет Easy Trace Pro це інструмент, що дозволяє швидко і якісно векторизувати растрові карти.
Інструментальна геоінформаційна система "ІнГЕО"	Система являє собою комплекс програмних продуктів, що дозволяє формувати векторні топографічні плани, з коректною топологічною структурою: кадастрові земельні плани, топографічні плани населених пунктів, генеральні плани підприємств, схеми інженерних мереж та комунікацій, тощо.
ГеоГраф ГІС	Програма призначена для створення, редагування, зберігання, відображення та аналізу просторово прив'язаної інформації. Завдяки багатоформатному ядру і широким можливостям імпорту, ГеоГраф ГІС має можливість інтегрувати дані практично з будь-яких форматів і будь-яких геоінформаційних систем. У програму закладена можливість підключення як до "настільних" баз даних(Paradox, dBASE, Microsoft Access), так і до всіх сучасних корпоративних СУБД (Oracle, MSSQL та ін.)
ГІС Конструктор "Геодезія"	Програма для обробки польових геодезичних вимірювань та вирішення найбільш поширених геодезичних задач, які використовуються на практиці.
ГеоАРМ	Моніторинг зон техногенної небезпеки, природних комплексів, забруднення навколишнього середовища, об'єктів інфраструктури.
CS GIS Engine 1.1	Середовище швидкої розробки користуальницьких додатків для ГІС, орієнтована на використання СУБД Oracle як єдиного сховища просторових і описових даних.

Назва програмного продукту	Призначення
Системи Роснадра	Інформаційне забезпечення робіт по геологічному вивченню надр і відтворення мінерально-сировинної бази, включаючи планування та проведення геологорозвідувальних робіт, на основі регулярного поновлення оперативної та зведеної інформації, забезпечення її актуальності та достовірності, взаємодії з основними інформаційними ресурсами
Геомастер	Пакет Геомастер призначений для розширення графічних можливостей MapInfo і включає в себе математичні алгоритми для обробки результатів польових вимірювань в середовищі MapInfo. Геомастер може поставлятися, як самостійний програмний продукт або у складі пакета Автоматизований Кадастровий Офіс, у який він входить в якості одного з модулів.
Дистанційне обстеження ділянок магістрального газопроводу "Горький-Центр" (дільниця "Касимівське СПХГ-КС Тума")	Виконання повітряного лазерного сканування спільно з аерофотозйомкою для проектування та геотехнічного моніторингу об'єктів газотранспортної системи.
OIS Production	OIS Production - підсистема технологічного рівня, орієнтована на найбільш повний і глибокий опис процесів і станів технологічних і геологічних об'єктів нафтовидобутку - свердловин, підземного і наземного обладнання, родовищ, пластів, об'єктів розробки і т.д.
АГІКС	Основний зміст Автоматизованої геоінформаційної кадастрової системи Республіки Комі становлять інформаційні ресурси: документи, бази даних, аналітичні дослідження, інтегровані інформаційні системи, картографічні матеріали, космічні знімки та ін Більшість інформаційних ресурсів представлено в цифровому вигляді.
GeoMedia 6.0	Надає високоякісні інструменти для створення і редагування картографічної продукції. Серед багатьох можливостей продукту - векторна прозорість, яка дозволяє користувачеві крізь напівпрозоре векторне зображення бачити растрове, що знаходиться під ним.
Геоінформаційна система управління даними облаштування родовища - ГІС УДОР	Побудова просторово-фінансово-часової цифрової моделі інфраструктури нафтогазового родовища.
NovaMap SDK	Програмний компонент, призначений для створення якісних географічних інформаційних систем.

Таблиця 2

**Приклади спеціалізованих геоінформаційних систем в геології
(розширена характеристика)**

Назва програмного продукту	Завдання, що виконуються
K-MINE ®	Калібрування і склеювання растрових зображень; векторизація зображень, створення цифрових моделей родовищ; геолого-економічна оцінка запасів родовищ корисних копалин; підрахунок запасів корисних копалин, створення електронних карт місцевості, населених пунктів, споруд, проммайданчиків підприємств, імпорт і експорт даних з інших ГІС систем; обробка даних різних зйомок (геодезичної, топографічної, ДЗЗ і т.д.); маркшейдерське забезпечення гірничих робіт (відкритих та підземних); геологічне забезпечення гірничих робіт (відкритих та підземних); планування гірничих робіт (відкритих та підземних); проектування гірничих робіт (відкритих і підземних); проектування буропідричних робіт (відкритих та підземних); проектування об'єктів генпланів; проектування елементів будівництва, комунікацій, будівель і споруд; контроль якості виконання буро-вибухових робіт (визначення гранулометричного складу підірваної гірничої маси, ведення карти розбурювання та вибухів, складання паспортів буро-вибухових робіт); управління агрогосподарствами (прогнозування врожайності, планування та ведення сільськогосподарських робіт).
Інформаційна система "Віддалений моніторинг буріння" (ІС ВМБ)	Контроль процесу будівництва свердловин, включаючи етапи освоєння свердловин, капітального і підземного ремонту, процесів видобутку і транспортування продукту.
Програма тривимірної візуалізації даних "Petroplast3D"	Завантаження та візуалізація карт. Візуалізація поверхонь покрівлі-підшови пласта, геологічного об'єкта, денної поверхні; Побудова структурної карти; Відображення проектних і фактичних траєкторій стволів свердловин; Відображення каротажних кривих; Відображення сейсмічних розрізів; Відображення сейсмічних кубів (або їх частин).
Easy Trace Pro	Підготовка растрів, Автоматичне оцифровка і розпізнавання об'єктів, Інструменти редагування об'єктів, Утиліти для підтримки топологічної структури даних, Засоби організації та підтримки роботи оператора.

Назва програмного продукту	Завдання, що виконуються
Інструментальна геоінформаційна система "ІнГЕО"	Система архітектури "клієнт \ сервер"; система, що має найрозвиненішу систему санкціонованого доступу до картографічної інформації серед всіх інших ГІС; система, в якій користувач сам може конструювати бібліотеки будь-яких векторних символів, ліній, заливок та ін. без жодних обмежень; найбільш ефективна ГІС для створення топопланів М1: 10000 - М1: 500; система, що підтримує всі можливі види топологічних відносин; найбільш відкрита серед інших ГІС: API для зв'язку з зовнішніми програмами (COM \ OLE Automation), вбудовані VBscript і Javascript, імпорт \ експорт в зовнішні формати MIF \ MID, DXF, Shape, IDF; єдина система, за допомогою якої можна організувати узгоджене створення карт декількома віддаленими організаціями, не пов'язаними каналами зв'язку; єдина система, яка забезпечує захист растрів від несанкціонованого копіювання користувачами; це єдина ГІС, до якої є розвинена інструментальна система в технології Internet \ Intranet, за допомогою якої користувач може самостійно будувати складні реляційні таблиці семантичних даних картографічних об'єктів; засоби публікації карт в інтернет з можливістю запиту даних по об'єктах; система, яка має потужну кадастрову надбудову - систему МОНІТОРИНГ і МАЙНО; це єдина вітчизняна ГІС, яка здатна конкурувати з західними продуктами.
ГеоГраф ГІС	Сфери застосування Географ ГІС: бізнес і наука, освіта і управління, соціологічні, демографічні та політичні дослідження, промисловість і екологія, транспорт і нафтогазова індустрія, землекористування та кадастр, служби комунального господарства і швидкого реагування, армія і органи правопорядку, а також багато інших галузей народного господарства.
ГІС Конструктор "Геодезія"	Обробка аеро- і космо- знімків, включаючи створення фотопланів і векторних планів місцевості; створення та оновлення векторних карт по топографічним та інших картах різних масштабів; топографічним зйомок великих масштабів.

Назва програмного продукту	Завдання, що виконуються
ГеоАРМ	Візуалізацію, введення і редагування картографічної та алфавітно-цифрової інформації з можливістю динамічного перерахунку координат при відображенні картографічної основи; можливість відображення космічних знімків спільно з картографічною основою геокодування - автоматичне розміщення на картографічній основі об'єктів або подій на основі аналізу адресної інформації импорт \ экспорт геоданих в \ з формати dxf / dbf, sxf, mif / mid, shapfile з можливістю завантаження та спільного відображення даних, представлених в різних системах координат і проекціях інформаційно-довідковий режим для отримання інформації по об'єктах і подій, пов'язаних з картографічною основою з можливістю збереження стану фрагментів карти для швидкого переходу від одного стану до іншого та виконання пошукових операцій для активних верств просторовий аналіз структурованої інформації про територію, об'єкти і події для отримання звітів у вигляді тематичних карт багатобарвних створення буферних зон, рішення інформаційно-довідкових, аналітичних задач на основі набору таких зон планування і розрахунок маршрутів на основі даних транспортної мережі моніторинг мобільних об'єктів, зіставлення отриманих даних з плановими завданнями
CS GIS Engine 1.1	Даний програмний продукт орієнтований на існуючих користувачів програмних продуктів CSoft, яким необхідно розширити функціональність стандартних рішень, а також на незалежні колективи розробників, які бажають тиражувати свої рішення у складі програмних продуктів CSoft.
Системи Роснадра	Створення єдиного інтерфейсу користувача; узгодження структури і даних інформаційних ресурсів Роснадра на основі розробки і впровадження єдиної системи довідників, класифікаторів і кодифікаторів інформації з вивчення надр і відтворення МСБ; оперативний доступ до віддалених інформаційних ресурсів для надання найбільш повної та актуальної інформації з геологічного вивчення надр, надрокористування та стану МСБ; регулярне оновлення оперативної та зведеної інформації по об'єктах вивченості, ГРР та НДДКР, ліцензування, геологічним установам і організаціям; зведення і подання всієї повноти інформації в уніфіковану географічну інформаційну систему на узгодженої полімасштабної картографічній основі; надання та безпосереднє використання інформаційних можливостей системи з робочих місць системи на основі технологій інтернету при забезпеченні розмежування доступу та захисту даних.
Геомастер	Обчислення теодолітних ходів; обробка тахеометричної зйомки; обчислення площі полігону довільної форми за координатами його вершин; обчислення координат і висот точок полярної зйомки; рішення зворотної геодезичної задачі; визначення довжин та напрямків ліній, недоступних для безпосередніх вимірювань, тощо.

Назва програмного продукту	Завдання, що виконуються
Дистанційне обстеження ділянок магістрального газопроводу "Горький-Центр" (дільниця "Касимівське СПХГ-КС Тума")	Інвентаризація та паспортизація об'єктів трубопровідної інфраструктури, управління ризиками використання активів; управління інфраструктурними активами нафтогазового комплексу.
OIS Production	Функціонально повний набір програм для збору, обробки оперативної інформації і генерації звітів про роботу фонду свердловин нафтового родовища. Закінчений технологічний цикл обробки інформації про роботу свердловин та інтеграції її з будь-яких геологічних, технологічних та адміністративних об'єктів. Забезпечення балансу замірних і фактичних значень об'ємних показників роботи свердловин. Доступ до інформації по об'єктах нафтовидобутку з початку експлуатації родовища (історія роботи свердловин). Сучасний інтерфейс користувача, можливість індивідуальної настройки робочого місця. Зручний пошук інформації з використанням геологічних і топографічних карт. Можливість створювати власні форм для введення інформації. Оперативність доступу до інформації та зменшення навантаження на існуючі канали зв'язку за рахунок використання розподілених баз даних. Відкритість для подальшого розвитку. Можливість підключення до системи спеціалізованих програмних комплексів. Можливість експорту / імпорту.
АГІКС	Інформація про ресурси надр та їх використання: геологічні карти, відомості про корисні копалини врахованих і не врахованих державним балансом запасів, відомості про прояви корисних копалин, інформація про підземні води тощо.
GeoMedia 6.0	Надає високоякісні інструменти для створення і редагування картографічної продукції. Серед багатьох можливостей продукту - векторна прозорість, яка дозволяє користувачеві крізь напівпрозоре векторне зображення бачити растрове, що знаходиться під ним.
Геоінформаційна система управління даними облаштування родовища - ГІС УДОР	Отримання даних з розрахункових систем, їх візуалізація, аналіз поточного стану родовища. Оцінка технічної допустимості можливих операцій над об'єктами облаштування - будівництво, реконструкція, консервація, ліквідація. Аналіз впливу окремих операцій на інфраструктуру родовища в цілому і виявлення оптимальної послідовності їх здійснення в часі. Автоматичний прорахунок інвестицій для кожного варіанта розвитку
NovaMap SDK	Компонент реалізує алгоритми зберігання, пошуку, індексації та відображення географічної інформації, і істотно прискорює процес створення геоінформаційного програмного забезпечення.

1.2. Огляд геоінформаційних систем в галузі нафтогазової геології

Історично склалося так, що математизація нафтогазової геології серед інших геологічних дисциплін досягла найбільшого розвитку. Тому саме в галузі нафтогазової геології розроблені і широко використовуються так звані інтерпретаційні системи, в основі роботи яких – побудова цифрової моделі нафтогазового (за природою – локального) об'єкту. Ступінь розвитку нафтогазової геології на сьогодні така, що всі стадії процесу геологічного дослідження (проектування-прогнозування-пошуки-розвідка-розробка) базуються на моделі об'єкту.

Сучасні системи інтерпретації геолого-геофізичних даних, як зарубіжні, так і вітчизняні, в якості джерела інформації використовують свої внутрішні структуровані блоки інформації, що мають загальну назву – проект.

Кожен проект – це набір каталогів, які мають специфічні назви, та файли, що містять геолого-геофізичну та службову інформацію. Формати файлів проектів, які містять геолого-геофізичну інформацію, в різних інтерпретаційних системах не співпадають між собою, що ускладнює їх взаємне використання.

В деяких системах організовано бази даних цільового призначення, наприклад: система GeoGraphix використовує реляційну базу даних (SyBase) з вбудованим інтерфейсом для оперування даними.

Звичайно, що склад геолого-геофізичної інформації обмежений функціональними можливостями самих систем інтерпретації. Введення та редагування вхідної інформації здійснюється шляхом імпорту даних із зовнішніх ASCII файлів відповідного формату або засобами вбудованого графічного інтерфейсу. Нижче розглядаються найбільш поширені і потужні інтерпретаційні системи: Petrel (Schlumberger), Geographix (Landmark), Kingdom [9].

1.2.1. Програмний пакет Petrel

Пакет Petrel призначений для побудови комплексних цифрових моделей локальних нафтогазових об'єктів та подальшого моніторингу протягом усього їх життєвого циклу.

Пакет Petrel забезпечує рішення наступних задач:

- Сейсмічна інтерпретація з використанням кубів даних SEG-Y.
- Об'ємна візуалізація кубів даних SEG-Y та результатів інтерпретації.
- Побудова 3D ґридів з урахуванням тектонічних порушень
- Побудова кубів гідростатичних і гідродинамічних властивостей пластів і розв'язання задач фільтрації флюїдів у зв'язку із експлуатацією об'єкту.
- Побудова 2D ґриду структурних поверхонь з урахуванням тектонічних порушень і міжповерхневих співвідношень (ерозія, незгідні трансрегресивні залягання і т.д.).
- 3D візуалізації геофізичних, геологічних, петрофізичних і промислових даних. У Petrel є опція використання 3D-окулярів для отримання істинного 3D ефекту.
- Виконання глибинних перетворень (перетворень часових карт та розрізів в глибинні) з використанням різних моделей швидкості.
- Побудова кубів літологічних властивостей на основі кореляції свердловин
- Аналіз даних про свердловину, перемасштабованих свердловин і властивостей, включаючи трансформації даних і комплексний пакет аналізу варіограм.
- 3D моделювання властивостей на основі каротажних діаграм і даних трендів (стохастичних, детерміністських). Сюди включений калькулятор для вирішення складних математичних рівнянь, включаючи одну або декілька 3D моделей властивостей;

наприклад, трансформації водонасиченої SW, засновані на 3D моделях пористості і проникності.

- Підрахунку запасів, аналізу даних і побудови графіків.
- Проектування свердловин в 3D. Оцифровка, редагування і візуалізація траєкторій свердловин, засновані на створеній геологічній моделі.
- Створення більш довершеної документації і звітності по роботі проектів за рахунок щільної інтеграції з такими додатками як Powerpoint, Word та Excel.

1.2.2. Програмне забезпечення Geographix

Пакет GeoGraphix - інтегроване робоче середовище Discovery представлене набором продуктів Discovery™ дозволяє об'єктовій групі працювати більш ефективно в повністю інтегрованому спільно робочому середовищі [35,36,37].

Discovery™ - це система геолого-геофізичної інтерпретації під ОС Windows®, яка поєднує в собі передові технології, підтримувані загальною архітектурою даних і проектів. Фахівці використовують цю тісно інтегровану систему для виконання інтерпретації, підтримки розробки родовищ та експлуатації вже розроблених об'єктів.

Пакет GeoGraphix серед іншого включає:

- Комплект програмного забезпечення DSS™ - потужний, легкий у використанні програмний продукт для аналізу пластових даних.
- Модуль TracPlanner Xpress™ для Discovery™ який надає необхідну технологію фахівцям, які виконують завдання по моделюванню проектних свердловин.

Для вирішення геологічних завдань представлений інструмент кореляції і моделювання нового покоління створює карти GeoGraphix вищої якості. Використовуючи систему геологічної інтерпретації по багатьох поверхнях пакета GeoGraphix® нового покоління, геологи зможуть створювати складні,

топологічно вірні 3-D моделі структурного каркасу лише на основі свердловинних кривих.

Програми для вирішення завдань геофізики:

- Додаток для роботи з синтетичними даними LogM™ є галузевим стандартом в області генерації синтетичних сейсмічних даних. Він надає фахівцям всі інструменти, необхідні для точної ув'язки свердловинних і сейсмічних даних
- Пакет моделювання LogM™ який включає в собі можливості стратиграфічного і структурного моделювання. Стратиграфічні моделі легко генеруються з відображення у вигляді розрізу, і вони включають в собі кореляцію пластів. У модель можна вводити невеликі зміни і швидко переглянути відповідний сейсмічний відгук
- Додаток GeoGraphix® PRIZM™ вирішує завдання петрофізики і є передовим інструментом аналізу каротажних даних, розроблений для петрофізичних проєктів з великим числом свердловин.

1.2.3. Інтерпретаційне програмне забезпечення KINGDOM

Програмному пакету KINGDOM властиві:

- Глибока інтегрованість програмних комплексів.
- Інформаційне забезпечення всіх етапів розвідки і розробки нафтових і газових родовищ - від обробки даних сейсморозвідки до буріння і моделювання.
- Опора на реалізацію перспективних рішень в області розвитку інформаційних технологій пошуку, розвідки і розробки запасів нафти і газу, зокрема управління запасами, сучасну візуалізацію даних, аналіз правильності ухвалення рішень і впровадження передових технологій.

Програмні модулі, що входять до складу пакету KINGDOM та їх функціональні можливості є наступними:

Open Works - інтегрована база даних яка забезпечує одночасну роботу всіх прикладних програм комплексу без ремастерінгу і переформатування даних. Має широкий набір засобів для управління геофізичними даними та їх інтеграції при проведенні аналізу та інтерпретації геолого-геофізичної інформації. Забезпечує єдиний технологічний ланцюжок при виконанні наступних технологічних процесів:

- Інтерпретація сейсморозвідки 2D/3D і свердловинних даних.
- Побудова на основі цієї інтерпретації геостатичних геологічних 3D моделей.
- Проведення гідродинамічного моделювання на SMP сервері процесів розробки родовищ.

Open Works Development Kit дозволяє інтегрувати програмні засоби, розроблені іншими виробниками.

Програмні засоби для аналізу та інтерпретації 2D і 3D сейсморозвідної інформації в тимчасовій і/або глибинній області.

Seis Work 2D. Пакет 2D сейсмічної інтерпретації. Забезпечує ув'язку профільних і площадкових даних різних зйомок, коректування амплітуд, частотного і фазового спектрів, дослідження сейсмічних горизонтів і розломів, виділення сейсмостратиграфічних комплексів, інтеграцію з промисловими-геофізичними даними, аналіз горизонтальних і вертикальних зрізів.

Geoprob for Magic Desk - об'ємна інтерпретація 3D сейсмічних даних, інтегрований візуалізатор різних видів даних (сейсмічні куби, каротажні криві, поверхні, геологічні тіла і т.д.), спектральна декомпозиція в частотній області.

Geoprob Data Server Landmark Links - інтегруюча оболонка пакету Geoprob.

Geodata Loading. Експорт/ імпорт геолого-геофізичних даних, інтерактивний редактор форматів інформації, що завантажена.

Програми для вирішення завдань інтеграції потоків геофізичної і геологічної інформації.

Syntool забезпечує побудову синтетичних сейсмограм. Необхідний при проведенні сейсмостратиграфічного аналізу і прив'язки сейсмічних даних до свердловинної інформації. Дозволяє користувачеві ефективно управляти процесами побудови швидкісних моделей.

Depth Team Express - інтерактивна побудова і редагування об'ємної швидкісної моделі з урахуванням структурного чинника, перетворення час/глибина даних сейсморозвідки і свердловин, результатів інтерпретації.

Програми геологічної інтерпретації і кореляції каротажних даних.

Stratworks включає наступні модулі:

- Літологія - розрахунок літологічних колонок і оцінка піщано-глинистих фракцій по каротажних кривих - по всьому інтервалу свердловини, в заданому інтервалі глибин, в інтервалі заданого пласта.
- Кореляція розрізу свердловин (до 20 свердловин одночасно).
- Геологічний розріз. Для точнішої побудови розрізу додатково може бути винесена сейсмічна інформація (у глибинах).
- Картопобудова. Розрахунок структурних карт, розрахунок карт товщини або карт параметрів, які прив'язані до пласта.

LogEdit забезпечує редагування і підготовку каротажних даних, петрофізична інтерпретація. Дозволяє точно і швидко діставати доступ до свердловинних даних, і параметрів без обмеження «одна свердловина, одна зона».

StrataModel - комплекс тривимірного геологічного моделювання. Пакет *StrataModel* дозволяє побудову 3D геологічних моделей, для розрахунків (при використанні додаткових пакетів) потоків флюїдів, проектування свердловин і розрахунку параметрів пластів.

StrataSIM – початкове гідродинамічне моделювання в статичній геологічній моделі.

StrataModel Fault Seal Analysis – програма, що проводить геологічний аналіз розломних порушень. Дає можливість моделювати потік флюїду через розломи, використовуючи технологію Badley Earth Science безпосередньо в тривимірній сітковій геологічній моделі колектора.

Програми для інтегрованого картування і моделювання поверхонь.

Пакет *Z-map Plus Full* – забезпечує побудову карт та підрахунок запасів.

Гідродинамічне моделювання міграції флюїдів в родовищах і побудова постійно діючої цифрової моделі родовищ нафти і газу виконують наступні модулі:

Parallel VIP дозволяє будувати моделі «чорної нафти» і композиційних моделей з використання технологій паралельної архітектури.

VIP Surface Simulations Module - модуль який оптимізує поверхнєве устаткування.

Parallel Vip2 проводить паралельний розрахунок в пакеті VIP з використанням двох процесорів на комп'ютері архітектури SMP.

VIP Dual Simulation Module виконує моделювання тріщинуватих колекторів (подвійна пористість).

VIP LGR Simulation Module дозволяє локально змінювати масштаб сітки гідродинамічної моделі.

VIP Polymer Simulation Module – модуль, що моделює гідродинамічні процеси при закачуванні в пласт полімерних розчинів.

Всі перелічені пакети мають приблизно однакові призначення і функціональність і конкурують на ринку програмного забезпечення даного напрямку.

РОЗДІЛ 2

ВИМОГИ ДО ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РЕГІОНАЛЬНОГО ГЕОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Сучасні дослідження в галузі нафтогазової геології обов'язково закінчуються побудовою тривимірної геологічної моделі, яка, в свою чергу, є основою для прийняття технологічних та фінансових рішень. Якщо проблему побудови моделей локальних об'єктів можна вважати вирішеною (див. розділ 1.2), то питання побудови регіональних геологічних моделей, залишається наразі відкритим. Під регіональною геологічною моделлю тут і надалі ми розуміємо цифрову модель крупної геологічної структури, в яку локальні об'єкти, які являються її складовими частинами, входять як структури більш високих порядків.

Необхідність регіональних геологічних моделей витікає із того факту, що локальні об'єкти є підсистемами більш крупної системи, без вивчення якої залишаються непізнаними внутрішні закономірні зв'язки між самими об'єктами. Геологічними наслідками цього філософського твердження є наступні.

1. Модель регіонального об'єкту є першим джерелом інформації про походження, особливості будови, основні властивості локальних об'єктів, що входять до його складу (другим джерелом є моделі самих локальних об'єктів)
2. Модель регіонального об'єкту є основою для прогнозування та пошуків локальних об'єктів в діапазоні заданих властивостей

Основна форма представлення 3D числової моделі – набір тривимірних ґридів параметрів $P_i = F_i(X,Y,Z)$ (рис. 2.1,а). Така форма застосовується для моделей локальних об'єктів. Проте спроби її застосування для регіональних геологічних моделей стикаються із значними обчислювальними складнощами (в сотні разів виростає розмірність задач, що є часто

нездоланною перепоною навіть для сучасних потужних комп'ютерів). Навіть якщо вдається розв'язати проблему розмірності задач, актуальною залишається проблема часу.

На щастя, для об'єктів шаруватої структури, характерної для значної частини геологічних тіл (надалі розглядаються саме такі тіла) 3D числову модель геологічного об'єкта можна представити набором 2D ґридів геологічних границь і літологічних (ємнісно-фільтраційних, інженерно-геологічних) параметрів $P_i = F_i(X,Y)$ (рис. 2.1, б). Літологічні параметри - суть коди об'єктів певної літологічної класифікації або числові значення відносного вмісту в гірській породі певного літологічного різновиду. Інші параметри (пористість загальна, пористість відкрита, проникність, вміст певної хімічної речовини в породі) характеризуються числовими значеннями величин – функцій просторових координат. Таким чином задача 3D моделювання геологічних об'єктів зводиться до побудови моделей границь і параметрів засобами 2D моделювання з подальшою візуалізацією і просторовим аналізом моделі з виходом на практичні результати.

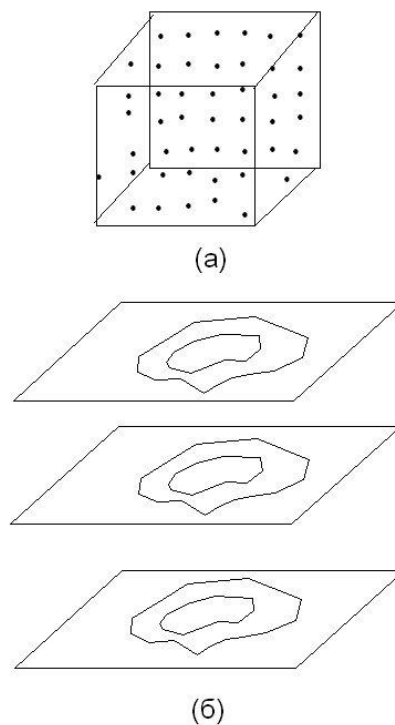


Рис. 2.1. Форми представлення 3D числової моделі

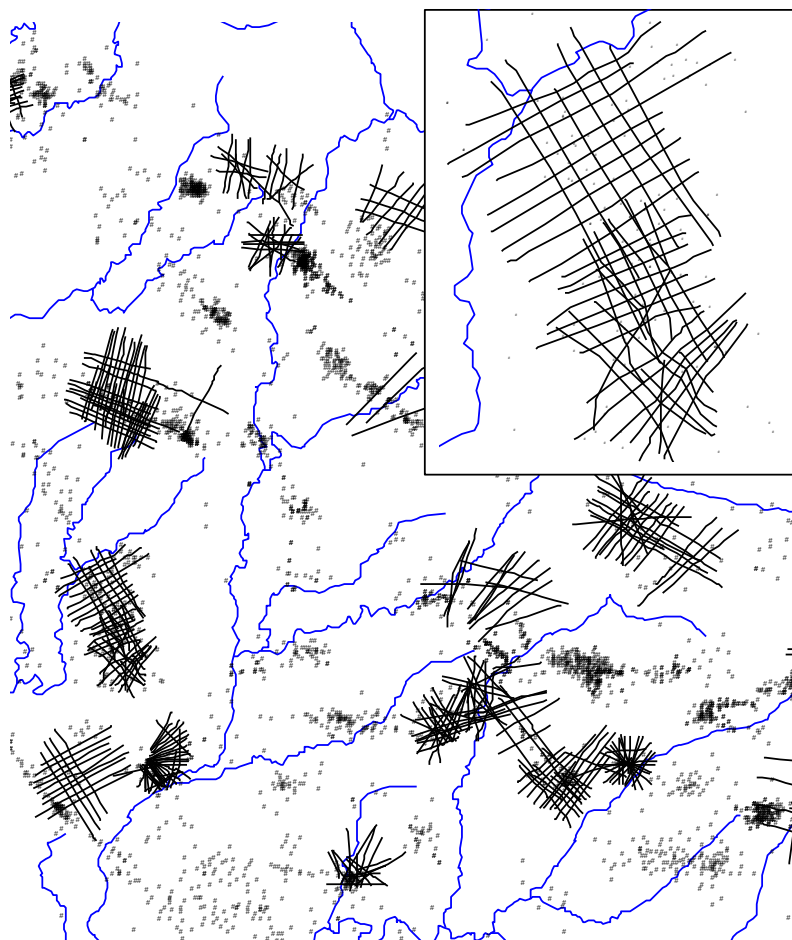


Рис. 2.2. Інформаційний простір для побудови локальних і регіональних геологічних моделей

Рисунок 2.2 ілюструє різницю між інформаційним забезпеченням задач побудови локальних та регіональних геологічних об'єктів. Локальні геологічні об'єкти, як правило, охарактеризовані густою мережею свердловин та сейсморозвідувальних профілів. Регіональні дослідження включають в себе як локальні об'єкти, так і міжоб'єктний простір і характеризуються нерівномірним розподілом інформації. Інтерпретаційні системи геологічного моделювання, розглянуті вище (Petrel, Geographix та ін.) мало ефективні в такому інформаційному просторі. До того ж ці системи

використовують уявлення про 3D геологічні моделі як про певну множину 3D ґридів параметрів (див. вище), природня апріорна інформація для побудови яких відсутня і вони можуть бути створені лише засобами 3D інтерполяції (які потребують густої мережі вихідних даних).

Представлення регіональної геологічної моделі у вигляді набору 2D ґридів зовнішніх і внутрішніх границь і властивостей дозволяє застосувати для її створення добре розроблені методи 2D моделювання, що враховують різнорідну вихідну і здатні враховувати апріорну інформацію, яка визначається природою геологічного середовища (результати попередніх досліджень в загальноприйнятій картографічній формі, експертні уявлення, тощо).

Базовими програмними технологіями для розробки таких систем є ГІС технології.

Система регіонального геологічного моделювання повинна задовольняти певним вимогам щодо функціональності. На нашу думку, функціональна частина системи складатися з трьох комплексів програм:

- Комплексу програм 2D моделювання. Програми побудови 2D моделі повинні працювати з різнорідною вихідною інформацією і давати можливість використання апріорної інформації у формі картографічних матеріалів (ґридів або цифрових карт в ізолініях, апріорних точок з вихідною інформацією).
- Комплексу програм просторового аналізу 2D моделей.
- Комплексу програм 2D і 3D візуалізації.

Функції повинні бути доступні із простого інтуїтивно зрозумілого геологу інтерфейсу і надавати йому можливість зручної і ефективної роботи з картографічним матеріалом. Орієнтовний перелік функцій наведено нижче.

Комплекс програм 2D моделювання включає в себе:

Слайн-апроксимація

а) визначення вихідної інформації;

- б) визначення області та параметрів апроксимація;
- в) визначення апріорної цифрової карти;
- г) сплайн-апроксимація з урахуванням тектонічних порушень;
- д) візуалізація результатів апроксимації;
- е) збереження результату в базі даних;
- ж) читання і візуалізація результату з бази даних.

Лінійна інтерполяція на трикутних сітках

- з) Побудова мережі трикутників на множині вихідних точок;
- и) Лінійна інтерполяція на трикутних сітках;

Комплекс програм 3D візуалізації моделей включає в себе:

- а) побудову 2D структурно-літологічних і параметричних розрізів;
- б) побудову 2D структурно-літологічних горизонтальних зрізів (карт);
- в) побудову 2D структурно-літологічних карт на геологічних поверхнях (наприклад, поверхнях розмиву) – вид знизу і зверху;
- г) побудову аксонометричних проєкцій частин геологічного тіла (вирізаних в геологічному тілі кубів) (аксонометричною проєкцією називається проєкція, отримана шляхом проєціювання геологічного тіла разом з тривимірною декартовою системою координат на площину, при якому жодна з координатних осей не проєціюється в точку);
- д) побудову 3D зображень кубів, вирізаних з геологічного тіла, всі сторони яких завдяки обертанню доступні для огляду;
- е) побудову 3D зображень геологічних границь.

Комплекс програм просторового аналізу моделей включає в себе:

- а) парну просторову кореляцію 2D моделей параметрів;
- б) парну просторову регресію 2D моделей параметрів (регресійні залежності використовуються в областях високої кореляції);

- в) просторову кластеризацію (виділення в геологічному тілі об'єктів, однорідних в просторі параметрів, що розглядаються);
- д) просторову класифікацію (виділення в геологічному тілі об'єктів із заданими властивостями);
- е) розрахунок об'ємів виділених в геологічному тілі об'єктів;
- ж) розрахунок екстремальних і середніх значень параметрів в геологічному тілі і у виділених в ньому об'єктах.

Дотримання даних вимог забезпечує створення повнофункціональної з точки зору геолога-дослідника геоінформаційної системи для побудови моделей регіональних геологічних об'єктів виділених певним чином в геологічному середовищі.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РЕГІОНАЛЬНОГО ГЕОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

3.1 Інтегровані середовища розробки прикладних систем. Обґрунтування оптимального вибору середовища розробки

Геоінформаційні системи (ГІС) - явище відносно нове. Перші географічні інформаційні системи розроблені в 50-60-х роках, спочатку в цивільному секторі. У 70-80-х роках розвинулася сильна і активна ГІС-індустрія з явним лідерством США. А в 1990 р. були опубліковані перші роботи по історії ГІС [5].

Переважна частина ГІС для зберігання даних використовує файлову систему певної структури. Загалом формати даних в різних ГІС системах не співпадають між собою, що ускладнює їх взаємне використання. Введення та редагування вхідної інформації здійснюється шляхом імпорту даних із зовнішніх ASCII або XLS-файлів відповідного формату. В більшості ГІС передбачається можливість підключення до зовнішніх баз даних за допомогою апарату SQL запитів.

Головним робочим елементом ГІС є проект. Проект об'єднує дані і засоби їх обробки, що використовуються для розв'язання задач, для яких він створений.

Детальніше розглянемо основні принципи роботи ГІС на прикладі найбільш потужних інтегрованих програмних продуктів MapInfo та ArcView.

3.1.1. Інтегрована ГІС система MapInfo

MapInfo Professional - географічна інформаційна система (ГІС), призначена для збору, зберігання, відображення, редагування та аналізу просторових даних. Перша версія ГІС MapInfo Professional була розроблена в

1987 році компанією MapInfo корпорації, і стала однією з найпопулярніших ГІС у світі. Зараз MapInfo Professional використовується в 130 країнах світу, переведена на 20 мов, включаючи російську, і встановлена в десятках тисяч організацій. У Росії, завдяки простоті освоєння, багатим функціональним можливостям і розумній вартості, MapInfo стала однією з наймасовіших геоінформаційних систем.

ГІС MapInfo - високоефективний засіб для візуалізації та аналізу просторових даних. Сфери застосування ГІС MapInfo: бізнес та наука, освіта і керування, соціологічні, демографічні та політичні дослідження, промисловість та екологія, транспорт і нафтогазова індустрія, землекористування та кадастр, служби комунального господарства та швидкого реагування, армія і органи правопорядку, а також багато інших галузей господарства [38].

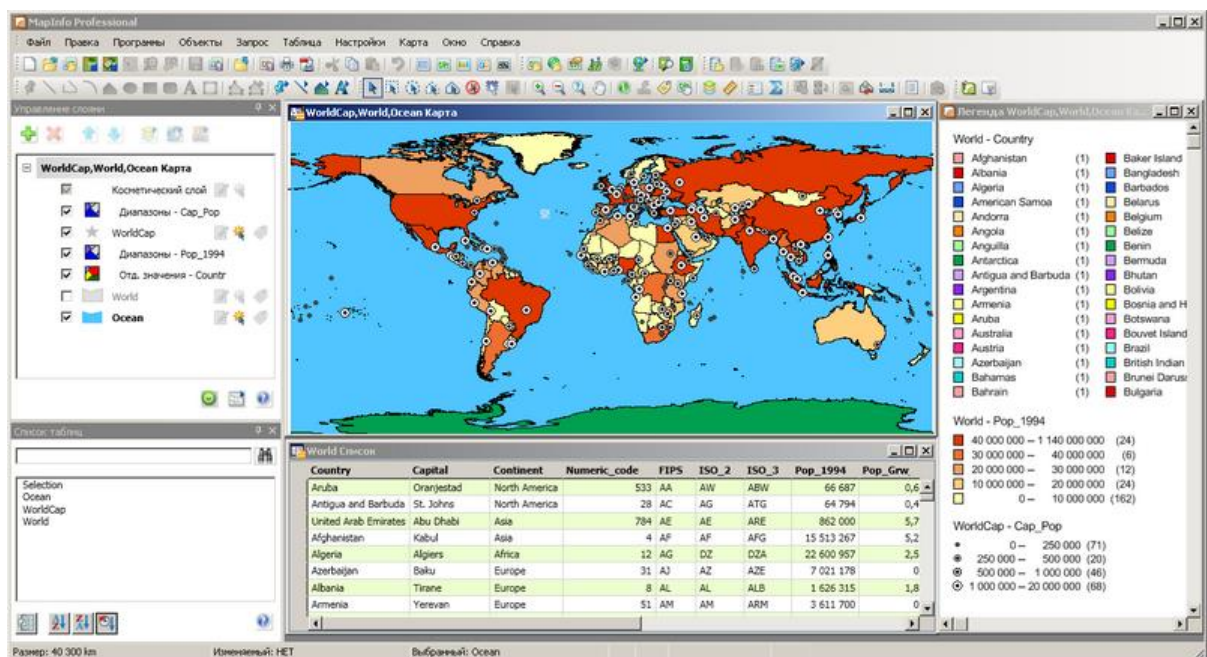


Рис. 3.1. Вікно робочого набору ГІС MapInfo

3.1.1.1. Основні функціональні можливості MapInfo

MapInfo Professional - географічна інформаційна система цифрового картографування, що надає користувачам широкі функціональні можливості

по візуалізації та аналізу просторових даних. В MapInfo Professional можливий збір і зберігання картографічних даних в БД з урахуванням просторових властивостей та взаємодії об'єктів, а також їх редагування та обробка.

За допомогою ГІС MapInfo вирішуються наступні завдання:

- Створення картографічних об'єктів у MapInfo (введення координат з клавіатури, оцифровка по растровому зображенню, введення GPS-інформації з геодезичних приладів, імпорт графічних даних з інших ГІС та САПР-систем, геокодування точкових об'єктів).
- Розширений пошук інформації за ознаками і сполученням, створення запитів на мові SQL, вибірка об'єктів з урахуванням просторових відносин.
- Створення тематичних карт з використанням великої колекції умовних позначень.
- Робота із зовнішніми СКБД, зокрема зберігання та обробка просторових об'єктів в базі даних Oracle.
- Завантаження растрових і векторних даних з картографічних серверів WFS і WMS.
- Підключення картографічних функцій MapInfo до додатків, написаних на інших мовах програмування: Delphi, Visual Basic, C ++, PowerBuilder та ін.
- Підтримка великої кількості проекцій і координатних систем.
- Візуалізація мобільних об'єктів.
- Мультимедійні можливості щодо зв'язування об'єктів карти з будь-якими файлами, в тому числі - інтерактивними.
- Спільний доступ до централізованого сховища часто використовуваних файлів.
- Друк з програми MapInfo в багатошаровий файл PDF.
- Підтримка SQL Server 2008.

– Інтеграція з платформою NET.

3.1.1.2. Формати даних

MapInfo містить всю графічну, текстову та іншу інформацію в таблицях. Одній таблиці MapInfo відповідає один шар карти. Кожній таблиці (файл з назвою <ім'я таблиці > TAB) фізично відповідає набір файлів-компонентів з різними розширеннями і іменем таблиці:

<ім'я таблиці > DAT або <ім'я файлу > WKS, DBF, XLS: Цей файл містить табличні дані. Крім того, таблиці, що містять растрові зображення, зберігають дані у файлах форматів BMP, TIF або GIF.

<ім'я таблиці > MAP: Цей файл містить графічні об'єкти.

<ім'я таблиці > ID. Цей файл описує зв'язки між графічними об'єктами на карті і відповідними табличними даними.

Таблиця може містити також і індексний файл. Наявність індексного файлу дозволяє проводити швидкий пошук об'єктів на карті і табличних даних. Індексний файл має вид: <ім'я таблиці > IND. Крім власних форматів, MapInfo працює без конвертації з графічними даними у форматах ArcView Shape-файл, ESRI ArcSDE, ESRI бази геоданих (MDB), ARC / INFO E00, AutoCAD DXF / DWG, Intergraph / MicroStation Design DGN, SDTS, VPF і табличними даними у форматах Access, Excel, Lotus 1-2-3, XBASE і ASCII. Універсальний транслятор MapInfo дозволяє здійснювати імпорт і експорт даних в інші ГІС та САПР системи (ESRI файл форми, AutoCAD DXF / DWG, Intergraph / MicroStation Design DGN, AtlasGIS, ARC / INFO E00).

3.1.1.3. Зв'язок з базами даних

MapInfo може виконувати функції картографічного клієнта для всіх сучасних СКБД. Джерело даних вказує на розміщення певної бази даних. Після того як з'єднання з джерелом даних клієнта встановлено, можна

завантажити інформацію з будь-якої таблиці Oracle або іншої СКБД в пов'язану таблицю MapInfo Professional або використовувати цю інформацію безпосередньо, працюючи в режимі прямого доступу. Клієнт може мати кілька джерел даних, кожне з яких буде надавати доступ до відповідної бази даних (рис. 3.2).

Для зв'язку MapInfo-клієнта із зовнішньою базою даних, використовується ODBC технологія. ODBC (Open Database Connectivity) - це технологія, що надає стандартний інтерфейс доступу до баз даних різних типів.

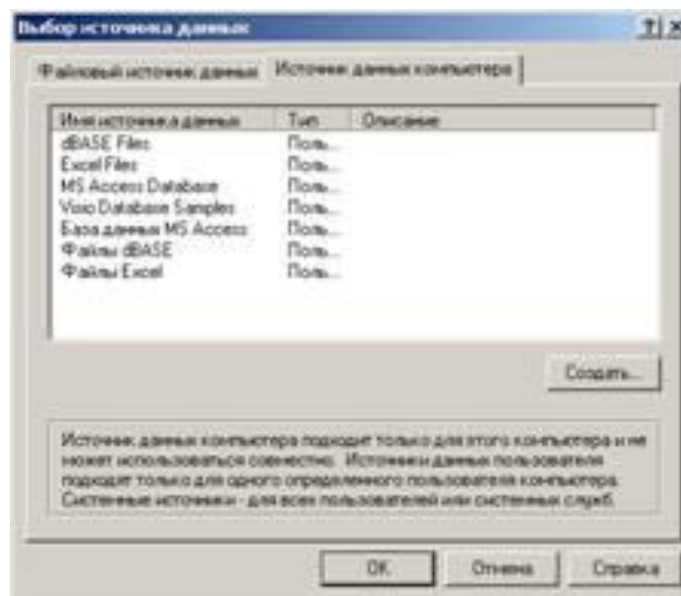


Рис. 3.2. Вікно вибору джерела донних

3.1.1.4. Засоби розробки додатків

Для розробки додатків MapInfo використовує інтерпретатор Mapbasic. Використання його надає можливості для управління даними, способами їх обробки та візуалізації; налаштування середовища ГІС Mapinfo; підключення бібліотек (DLL), створених іншими розробниками. Існує, також, можливість використання мови SQL для запитів до зовнішніх баз даних та безліч функцій для забезпечення інтеграції ГІС Mapinfo з іншими додатками.

За допомогою Mapbasic розв'язуються наступні питання:

- адаптація Mapinfo (розробка додатків) для вирішення найширшого спектру завдань,

- розширення функціональних можливостей ГІС Mapinfo Professional, побудова власної ГІС, орієнтованої на розв'язання конкретних прикладних задач (введення даних, що вимагають великої кількості вікон діалогів, оптимізація виконання певного переліку команд, що об'єднуються в спеціальні інструментальні панелі).

Основні характеристики Mapbasic:

- понад 300 операторів і функцій;
- гнучкість (модульна структура програми, організація циклів, управління процесами, можливість побудови обробників помилок і відгуків на події);
- відвертість (виклик DLL або EXE з Mapbasic програми, зв'язок з іншими Windows-додатками через DDE; управління Mapinfo за допомогою DDE або OLE Automation; доступ до видалених баз даних через ODBC);
- настроювання (модифікація меню Mapinfo і створення власної специфічної системи, діалогів і панелей інструментів);
- SQL-стандарт запитів (використання стандартних запитів SQL MM, розширених просторовими запитами типу площа, відстань, периметр, координати, вкладеність, сусідство, перетин і т.д.);
- управління таблицями і файлами (пряме відкриття в Mapinfo файлів Excel, Access, Lotus 1-2-3, xbase і ASCII, запити до них, що формують тимчасові таблиці або тимчасові стовпці, сортування, оновлення, об'єднання, угруповання і інші механізми управління даними, підтримка семантичного і графічного об'єднання даних з можливістю збереження і відновлення даних. З'єднання з видаленими базами даних типа Oracle, Ingres, Informix, Db/2, Microsoft SQL через ODBC. Читання і запис ASCII і бінарних файлів);

- створення і модифікація географічних об'єктів (створення точкових, лінійних, площових об'єктів, тексту, буферних зон та інших просторових об'єктів. Модифікація стилю оформлення об'єкту. Можлива зміна положення вузлів об'єкту як одного, так і групи. Конвертація і модифікація об'єктів. Оверлейні операції: об'єднання, розрізання, видалення зовнішньої і перекриваючої частини. Обчислення площі, периметра, центроїда, протяжності, площі перекриття. Формування карт з окремих шарів, контроль за установками одноманітного зображення шарів, їх масштабного ефекту. Створення тематичних карт і легенд до них. Пошук і геокодування об'єктів. Великий вибір проекцій і еліпсоїдів з можливістю створення додаткових);
- формування призначеного для користувача інтерфейсу (Mapbasic дозволяє розробляти власні меню, панелі інструментів і діалоги, що спрощують роботу кінцевого користувача з геоінформаційною системою і дозволяючи розв'язувати приватні задачі організації);
- інтегрована картографія (можливе вбудовування вікон Mapinfo в програми, написані на інших мовах типу Delphi, Visual Basic, C++, Powerbuilder. Mapbasic підтримує ODBC стандарт для зв'язку із зовнішніми базами даних. Використовуючи OLE Automation і DDE, можна легко обмінюватися інформацією з іншими Windows-додатками. Наприклад, п'ять рядків коду на Visual Basic дозволяють вставити вікно Mapinfo у власний додаток);
- легкість в освоєнні (Mapbasic має функції і операторів, аналогічні мові BASIC, і додатково - картографічні функції ГІС. Команди Mapbasic, Mapinfo, що генеруються, відображаються в спеціальному вікні в самому Mapinfo Professional. Вікно Mapbasic в Mapinfo дозволяє швидше освоїти цю мову і спрощує процес програмування);

- середовище розробки (створені Mapbasic програми, що відкомпілювалися, можна використовувати в роботі Mapinfo Professional і Runtime модулях Mapinfo. Mapbasic - мова мультиплатформенна, модульна, процедурна, керована подіями. Програма Конструктор Діалогів дозволяє візуально створювати діалоги для Mapinfo і автоматично генерує код Mapbasic)

Крім середовища Mapbasic в Mapinfo існує такий інструмент як SmartPanels SDK який забезпечує можливість інтеграції Microsoft.NET додатків в середовище MapInfo Professional. SmartPanels SDK дозволяє розробляти додаткові модулі (плагіни), керувати ними, налаштовувати і зберігати їх параметри. Ці модулі працюють в загальному середовищі і можуть обмінюватися даними, що робить можливим створення закінчених рішень, використовуючи SmartPanels SDK. З MapInfo Professional 11.0 надаються розроблені за допомогою цього SDK плагіни:

- Вкладки - якщо в ГІС MapInfo відкриті кілька вікон Карт, Списків, Звітів і т.д., плагін дозволяє перемикатися між ними, використовуючи панель вкладок. Вікно MapBasic перетворюється в панель, що стикується.
- Розширена панель інформації - призначена для перегляду і редагування даних про об'єкти в таблицях ГІС MapInfo за допомогою візуально підготовлених форм.
- Менеджер карт - спрощує доступ до просторових даних, що зберігаються в СКБД Oracle. Дозволяє розміщувати шари карт в каталогах, зберігати і завантажувати з БД робочі набори, а шари, які не можуть зберігатися в Oracle напряму - зберігати як шари карт ГІС MapInfo.

SmartPanels SDK дозволяє розробляти власні програми з розвиненим інтерфейсом, використовуючи єдину систему управління розширеннями.

3.1.2. Геоінформаційна система ArcView

Розроблювачем системи ArcView є Інститут Досліджень Систем Навколишнього Середовища (Environmental Systems Research Institute, ESRI - США) - за даними численних статистичних оглядів ESRI є єдиним розроблювачем і постачальником комерційних ГІС в складі 50 найбільших компаній світу, що роблять програмне забезпечення. ESRI є загальноновизнаним лідером на ГІС ринку і контролює більш 30% обсягів продажів. У світі нараховується більш 250 тисяч користувачів програмних продуктів ESRI, більш 100 000 організацій успішно розвивають свою діяльність, використовуючи рішення ESRI. 200 000 інсталяцій ArcView у світі говорять про велику зацікавленість у цій системі органів керування, державних і приватних підприємств, наукових і навчальних центрів [17].

Перша версія ArcView була випущена в 1983 році. До цього часу, в результаті постійних робіт з поліпшення користувацьких характеристик і функціональної насиченості, настільна GIS ArcView по своїх можливостях впритул наблизилася до повнофункціональних ГІС.

В сучасній версії ArcView підвищено надійність роботи системи і поліпшена загальна продуктивність на платформах Windows 95/98/NT (у тому числі 5.0) і UNIX. Крім удосконалень базового ядра у версії 3.1 додана підтримка нових додаткових модулів, а також нових версій існуючих модулів (Spatial Analyst, Network Analyst версії, аналіз зображень, IMS, Tracking Analyst, Report Writer та ін.) .

Всі компоненти в поточному сеансі роботи з ArcView: види, таблиці, діаграми, компонування і скрипти для зручності зберігаються в файлі проекту. Імена файлів проектів мають розширення .arg. Файл проекту є файлом ASCII, отже проект можна редагувати за допомогою текстового редактора.

Метою ArcView є об'єднання можливостей ГІС, настільних картографічних систем і мультимедія з традиційними засобами аналізу даних

(системами керування базами даних DBMS і діловою графікою). Система побудована на модульному принципі, що дозволяє користувачу отримувати її реалізації різноманітної конфігурації.

ArcView знайшла широке застосування у великому діапазоні підприємств і організацій у системах підтримки прийняття рішень, зокрема "географічному" аналізі продажів, цифрової картографії, виборі оптимального маршруту руху транспортних засобів, визначення зон видимості, екологічному моніторингу.

3.1.2.1. Основні функціональні можливості ArcView

ArcView, організована як додаток WINDOWS, працює також на платформах UNIX (HP, SUN, Digital, SGI, IBM) і Macintosh, маючи на всіх платформах однаково високу функціональність.

ArcView напряду працює з SDE - новим програмним продуктом, призначеним для швидкої взаємодії з дуже великими базами даних. Одночасний доступ через SDE з запитам до бази й одержанням відповідей можуть здійснювати сотні користувачів без втрати швидкості.

Основною формою представлення інформації в ArcView є електронна карта. Особливість електронної карти в тім, що можна динамічно змінити масштаб карти, працювати в різних вікнах з її окремими фрагментами й одночасно звертатися до бази даних. Результати досліджень у таблиці (наприклад, вибірка об'єктів) негайно будуть відображені на карті, і навпаки, перетворення в карті (додані об'єкти, вибірка) негайно з'являться у таблиці. Табличні дані особливо зручно аналізувати за допомогою багатих засобів ділової графіки.

Таким чином, ArcView інтегрує векторні і растрові карти, знімки, креслення CAD, таблиці і SQL запитів бази даних для візуалізації, аналізу і представлення інформації.

До базового набору ArcView також входять наступні функціональні можливості:

- підтримка наборів символів ліній ARC / INFO;
- підтримка файлів креслення AutoCAD 14;
- підтримка мір;
- підтримка 3D представлення в шейп-файлах при отриманні даних з SDE за допомогою доступу до баз даних;
- засоби динамічної сегментації, в тому числі для бази даних Access;
- можливість налаштування на потрібний растровий формат;
- пряме читання формату MGE;
- розширена підтримка дат;
- модуль взаємозв'язку з системою SAP R3 та ін.

3.1.2.2. Формати даних

Карти в ArcView формуються і зберігаються пошарово. Інформація про форму і просторове розташування об'єктів шару (теми - за термінологією ArcViews) зберігається в shp-форматі. На вінчестері shp-темі відповідає три файли з розширеннями shp, dbf, shx, в яких зберігаються відповідно просторові образи об'єктів та табличні дані про них. Shx-файл служить для зв'язку між просторовими і табличними даними. Для зберігання табличної інформації використовується формат dbf. І shx і dbf формат на сьогодні є поширеними стандартами формату даних.

GIS ArcView забезпечує широкі функціональні можливості щодо адаптації до різних форматів даних, які існують на сьогоднішній день:

- пряме читання картографічних даних з шейп-файлів, ARC/INFO, PC ARC/INFO, ArcCAD, AutoCAD (DXF, DWG), Intergraph (DGN). Імпорт картографічних даних з MapInfo, Atlas GIS та ASCII.
- можливість відкривати растрові дані з ADRG, BIL, BIP, BMP, BSQ, CADRG, CIB, EPS, ERDAS Imagine, GeoTIFF, GIF, JPEG, Landsat, NITF, PICT, RLC, TIFF (включаючи TIFF 6.0), USGS DOQ, SPOT, Sun Raster.

- пряме використання таблиць баз даних з ASCII, dBase, INFO, ACCESS, Oracle, FoxBase, SQL Server, Sybase, Paradox, DB2, Ingres та будь-які ODBC/SQL сумісних баз даних.
- можливість приєднання до Spatial Database Engine (SDE) в якості клієнта для доступу до просторових баз даних.

3.1.2.3. Зв'язок з базами даних

ArcView GIS працює безпосередньо з покриттями ARC / INFO у вигляді атрибутивних таблиць формату DBF або INFO. Атрибутивні дані також можуть зберігатися в текстовому форматі, форматах Dbase III, IV Dbase або в стандартних СКБД (Oracle, Sybase, Informix, Excel, Access та ін). Завантажені дані можуть бути різними засобами пов'язаними між собою: об'єднані в єдину таблицю в режимі «один до одного» або пов'язані з єдиною ознакою в режимі «один до багатьох». З'язок із зовнішніми базами даних здійснюється за допомогою SQL-запитів.

3.1.2.4. Засоби розробки додатків

ГІС Arcview має власне вбудоване середовище розробки, основний компонент якої - Avenue - об'єктно-орієнтована мова програмування, яка надає інструментарій для налаштування ArcView 3.x і розробки додатків під ArcView 3.x. У спрощеному вигляді всю програму ArcView можна розглядати як набір скриптів, так як кожен елемент управління має пов'язаний з ним скрипт. Сценарій або скрипт (Script) - це текст програми, написаний з використанням кодів мови програмування Avenue з метою додавання нових функціональних можливостей в ArcView.

Деякі додаткові скрипти поставляються разом з програмою ArcView і можуть бути використані користувачем в будь-який час. Вони знаходяться у

директорії \$ AVHOME \ Scripts (за замовчуванням це ESRI \ Av_gis30 \ Arcview \ Samples \ Scripts).

Avenue дозволяє користувачам створювати свої власні скрипти для виконання конкретних прикладних завдань. Ці сценарії можуть бути задіяні і іншими користувачами в їх поточних проєктів. Для цього необхідно додати скрипт в Проєкт, відкомпілювати його і зв'язати з яким-небудь елементом управління (кнопкою, пунктом меню та ін.).

З випуском ArcInfo 8.1 розробники ГІС можуть використовувати нову COM-технологію розробки ArcObjects, яка надає можливість використання добре документованої моделі даних з упроваджуваними компонентами. ArcObjects дозволяє вирішувати широке коло завдань: від налаштування і розширення ArcInfo до побудови нових ГІС-додатків. Оскільки Visual Basic для додатків (VBA) - середовище розробки, що поставляється з ArcInfo 8, то він використовується найбільш часто. Однак ArcInfo 8 може бути налаштована за допомогою будь-якої мови, що підтримує технологію COM, наприклад, Visual C ++, VJ ++ або Delphi.

ArcObjects - це платформа розробки для таких модулів ArcGIS, як ArcMap, ArcCatalog і ArcScene. Програмні компоненти ArcObjects охоплюють повний діапазон функціональних можливостей, доступних в ArcInfo і ArcView для розробників програм.

ArcObjects - інфраструктура, яка дозволяє створювати специфічні для конкретної предметної області компоненти з набору компонент, що включає більше 1200 об'єктів, які можуть бути використані для налаштування, розширення та побудови ГІС додатків.

ArcObjects побудований з використанням технології Моделі компонентного об'єкту фірми Microsoft (COM - Component Object Model). Тому є можливість розширювати склад ArcObjects шляхом написання COM-компонент, використовуючи будь-який COM-сумісний мови розробки. Є можливість розширювати будь-яку частину архітектури ArcObjects так само, як це роблять розробники ESRI.

Щоб зрозуміти модель компонентного об'єкту (всі СОМ-засновані технології), важливо зрозуміти, що це не об'єктно-орієнтована мова, протокол або стандарт. Модель компонентного об'єкту - більше ніж просто технологія, це - методологія розробки програм. Модель компонентного об'єкту визначає протокол, який з'єднує один програмний компонент або модуль з іншим. Використовуючи цей протокол, можна будувати програмні компоненти багаторазового використання, що можуть бути динамічно замінювані в розподіленій системі. Модель компонентного об'єкту також визначає модель програмування, відому як інтерфейсно-засноване програмування. Компоненти полегшують програмне багаторазове використання, тому що вони - окремі стандартні блоки, які можуть легко бути зібрані у великі системи.

Модель компонентного об'єкту визначає об'єктну модель і вимоги програмування, які дають можливість об'єктам СОМ взаємодіяти з іншими об'єктами СОМ. Ці об'єкти можуть бути в межах одного процесу, в різних процесах, або навіть на віддалених машинах. Вони можуть бути написані на різних мовах і розроблені різними способами.

3.2. Проектування та програмна реалізація методів побудови цифрових моделей регіональних геологічних об'єктів

3.2.1. Алгоритми побудови 2D моделей параметрів

Побудова моделей структурних і ємнісно-фільтраційних параметрів повинна здійснюватись з урахуванням тектонічних порушень, соляних штоків та усієї наявної інформації (значень параметру в свердловинах, значень параметру на сейсморозвідувальних профілях, оцифрованих карт в ізолініях).

До процесу моделювання залучена і врахована апріорна інформація у вигляді:

- карт, побудованих попередниками;

- теоретичних уявлень про характер просторового розподілу параметру, представлених у вигляді карти, числової моделі (гріду), аналітично визначеної функції;
- контурів областей визначення параметру (наприклад, контуру поширення геологічного тіла в просторі).

Для побудови регіональних 2D моделей нами пропонується програмний комплекс **GEOMAPPING** [35-37], який задовольняє всі вищезазначені вимоги і випробуваний на великій кількості геологічних об'єктів. На рис. 3.3 показано приклад роботи комплексу на одному з регіональних геологічних об'єктів. Вихідна інформація представлена картою геологічної границі в ізолініях (на рисунку зверху). На рисунку знизу показано цифрову модель цієї границі, отриману в середовищі **GEOMAPPING**. Як бачимо, модель адекватна заданій вихідній інформації про об'єкт.



Рис. 3.3. Приклад моделювання регіональної геологічної границі

3.2.2. Ітераційна апроксимація із застосуванням техніки автоаналога

При відсутності природної апріорної інформації (на фоні нерівномірного розподілу і рідкої мережі точок спостереження) модель має будуватись

спеціальними методами. В якості одного з таких методів нами пропонується метод ітераційної сплайн апроксимації із застосуванням техніки автоаналога.

Моделювання виконується в програмному комплексі GEOMAPPING. На i -му кроці, будується поверхня з високим ступенем згладжування (пунктирна лінія). На $(i+1)$ -му кроці ця поверхня використовується як аналог, а результуюча поверхня будується з меншим ступенем згладжування і схожістю на аналог (суцільна лінія). Вихідна інформація визначена значеннями параметра в свердловинах (показані на рисунку чорними точками).

Приклад застосування техніки автоаналога в умовах відсутності природної апіорної інформації показано на рис. 3.4.

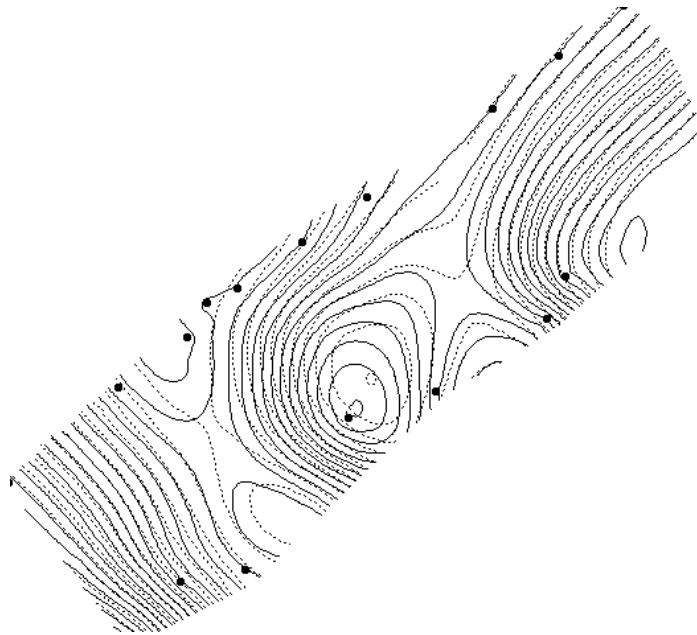


Рис. 3.4. Приклад застосування техніки автоаналога в умовах відсутності природної апіорної інформації

3.2.3 Лінійна інтерполяція на триангульованій області

Побудова 2D моделей геологічних границь і геологічних параметрів є основою створення інтегрованої цифрової моделі геологічного об'єкту та подальших інженерних розрахунків і наукових висновків. Цифрова модель

геологічного об'єкту має бути створена на будь-якій стадії дослідження об'єкту, і, відповідно спиратись на будь-який обсяг даних. Задача побудови 2D моделі геологічної границі в умовах достатніх і рівномірно розподілених на площі дослідження вихідних даних розв'язується тривіальною інтерполяцією. Однак отримати модель в умовах недостатніх та (або) нерівномірно розподілених на площі дослідження вихідних даних буде вже неможливо без залучення апріорної інформації у вигляді карт в ізолініях чи цифрових моделей, отриманих на основі теоретичних уявлень, експерних висновків або побудованих попередниками.

Якщо ж природня апріорна інформація відсутня, з побудовою моделі виникає проблема. Розв'язати цю проблему неможливо без залучення спеціального математичного апарату, одним з можливих варіантів якого є лінійна інтерполяція на триангульованій області. Вибір саме цього підходу обґрунтовується тим, що на ділянках між точками спостереження шукана поверхня апроксимується площинами тобто найпростішими поверхнями (поверхнями з мінімальною кривизною). Побудова складнішої поверхні в цих умовах буде необґрунтованою.

В традиційному варіанті процес розв'язання задачі методом лінійної інтерполяції на триангульованій області складається з двох етапів:

- триангуляції області дослідження (побудови мережі трикутників, що не перетинаються, в вершинах яких знаходяться вихідні точки спостереження)
- власне лінійної інтерполяції на мережі трикутників, яка емулює відомий "ручний" варіант такої побудови

В результаті отримуємо поверхню (рис. 3.5а) з розривами по першій похідній на сторонах трикутників, яка може використовуватись як кінцевий результат або як об'єкт наступного згладжування сплайн-функціями.

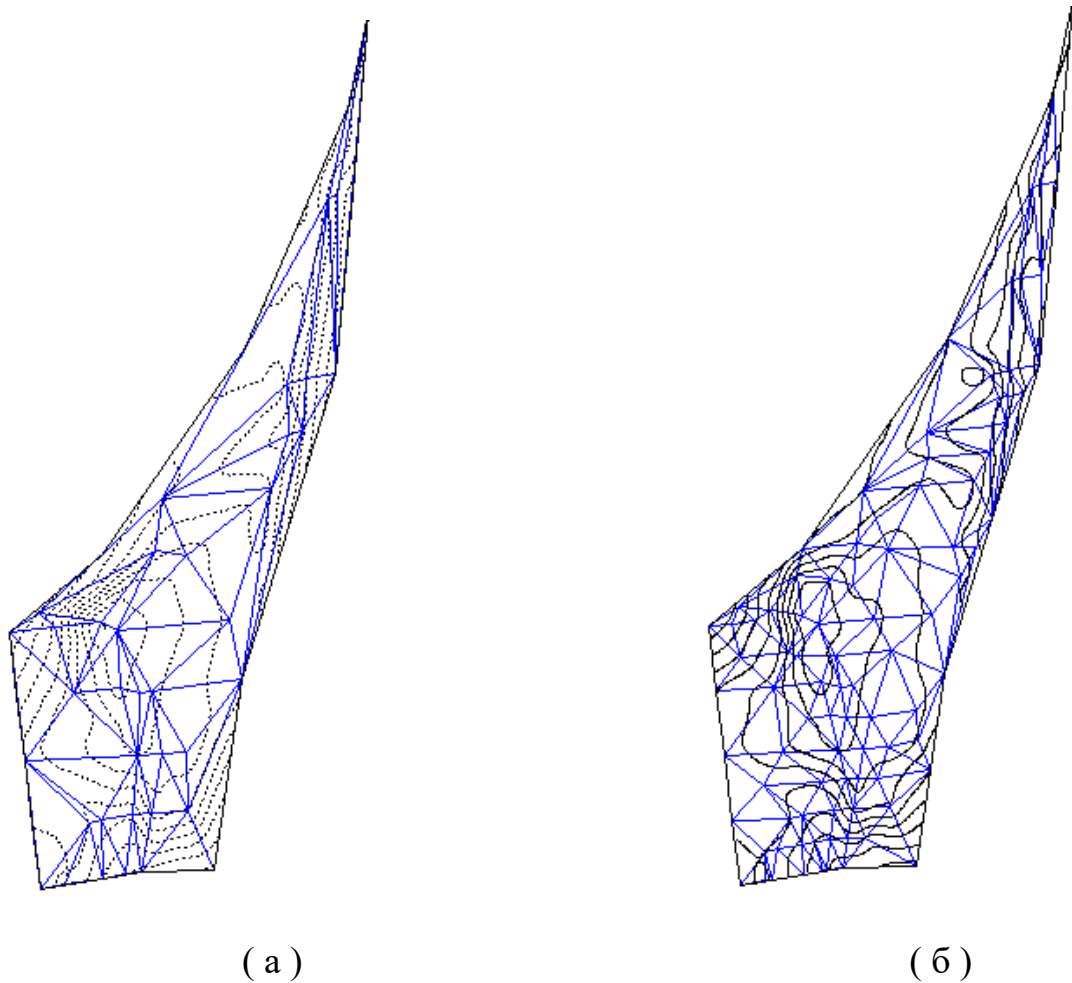


Рис. 3.5. Результат лінійної інтерполяції на триангульованій області

Недоліком традиційного варіанту є залежність результату від способу розбиття на трикутники. Щоб уникнути цього ми пропонуємо зробити процес ітераційним, на кожній ітерації якого виконуються:

- триангуляція області дослідження
- розрахунок додаткових серединних точок (X , Y , значення параметра)

на сторонах отриманих трикутників, довгих за задану порогову величину

Значення параметра в додаткових точках розраховуються методом зваженого на відстань по значеннях в вершинах пари суміжних по даній стороні трикутників. В якості порогового значення для поділу сторін трикутників додатковими точками вибирається середня довжина сторони на першій ітерації триангуляції.

В результаті ітераційного процесу трикутники наближаються до рівносторонніх, а сітка вихідних точок стає більш рівномірною. Процес

припиняється, коли довжини всіх сторін трикутників на певній ітерації не будуть перевищувати порогове значення. Результат лінійної інтерполяції на другій ітерації демонструється на рис. 3.5б.

Переваги ітераційної інтерполяції ще наглядніше демонструються на модельному прикладі (рис. 3.6). В структурному плані тут маємо “сідло”. Тонкою суцільною лінією відмальовані трикутники при двох можливих способах тріангуляції. Тонка пунктирна лінія на обох рисунках відповідає результату інтерполяції після однієї ітерації при двох різних варіантах розбиття області на трикутники (рис. 3.6а, 3.6б). Як бачимо, результат при зміні способу розбиття змінюється на протилежний. Водночас вже після другої ітерації в методі ітераційної інтерполяції в обох варіантах початкового розбиття області на трикутники, чітко вимальовується структурне “сідло”. Після наступних ітерацій результати в обох варіантах ставатимуть дедалі ближчими.

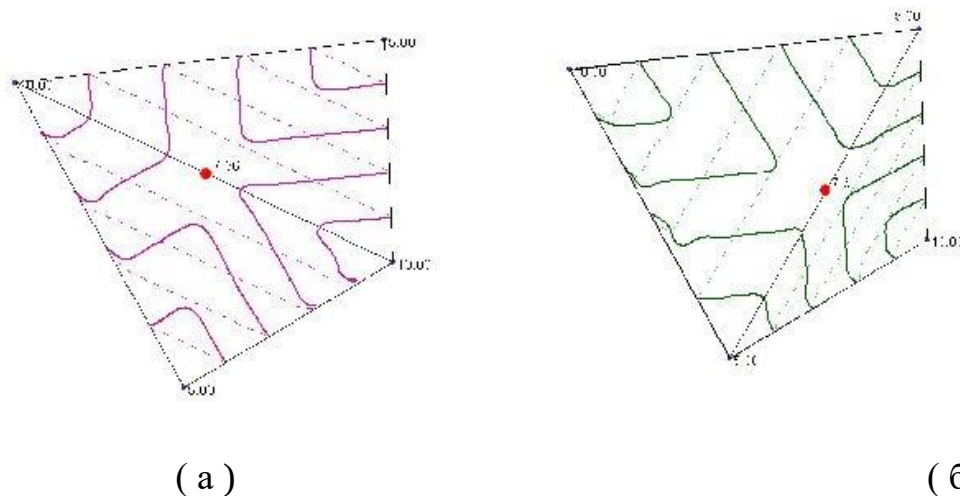


Рис. 3.6. Модель структурного сідла в традиційному і модернізованому варіантах методу лінійної інтерполяції на триангульованій області (модельний приклад)

Нижче наведено базові математичні засади алгоритмів триангуляції та лінійної інтерполяції на триангульованій області.

Для розбиття області на трикутники використовується простий покроковий алгоритм прямої побудови триангуляції Делоне [32].

Спочатку визначається базова сторона, від якої починається триангуляція. Перша вершина базової сторони вибирається найближчою до геометричного центру масиву вихідних точок. Друга буде найближчою до першої.

На базовій стороні будується перший трикутник. Третя вершина трикутника вибирається з множини вихідних точок таким чином, щоб кут при ній був найбільшим (на рис. 3.7 $a' < a$).

Наступні трикутники будуються на зовнішніх сторонах вже побудованих в цей же спосіб поки всі сторони трикутників розбиття не стануть внутрішніми або частинами випуклої границі області триангуляції.

Кут при шуканій третій вершині (X_3, Y_3) трикутника, що будується на базовій стороні $(X_1, Y_1) - (X_2, Y_2)$ розраховується з формули скалярного добутку (див. рис. 3.7):

$$\cos(a) = \frac{[(X_1 - X_3) * (X_2 - X_3) + (Y_1 - Y_3) * (Y_2 - Y_3)]}{d_1 * d_2}$$

$$d_1 = \sqrt{[(X_1 - X_3)^2 + (Y_1 - Y_3)^2]}$$

$$d_2 = \sqrt{[(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2]}$$

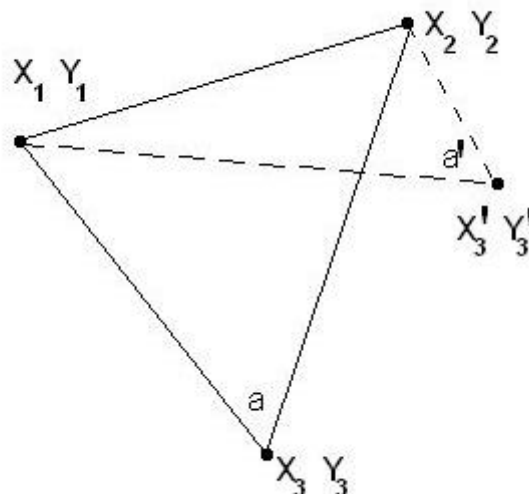


Рис. 3.7. Вибір третьої вершини трикутника з усіх можливих по максимальному куту при ній

Методом лінійної інтерполяції на триангульованій області розраховуються значення параметру у вузлах регулярної точкової мережі, яка покриває триангульовану область (рис. 3.7). Значення Z у вузлі (X, Y) отримуємо в ході наступних розрахунків:

$$k_1 = \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1}$$

$$k_2 = \frac{X_3 - X_1}{Y_3 - Y_1}$$

$$Y_t = \frac{X_1 - X_3 - Y_1 * k_1 + Y_3 * k_2}{k_2 - k_1}$$

$$X_t = X_1 + (Y_t - Y_1) * k_1$$

$$w_1 = \frac{\sqrt{(X_1 - X_t)^2 + (Y_1 - Y_t)^2}}{\sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}}$$

$$w_2 = \frac{\sqrt{(X_t - X)^2 + (Y_t - Y)^2}}{\sqrt{(X_t - X_3)^2 + (Y_t - Y_3)^2}}$$

$$Z_t = Z_1 * (1 - w_1) + Z_2 * w_1$$

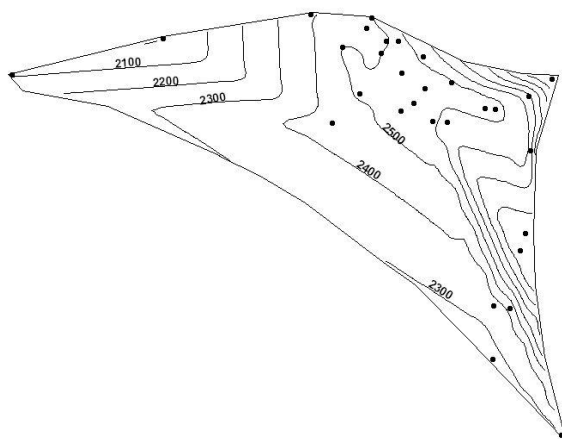
$$Z = Z_t * (1 - w_2) + Z_2 * w_2$$

(X_t, Y_t, Z_t) – проміжна допоміжна точка

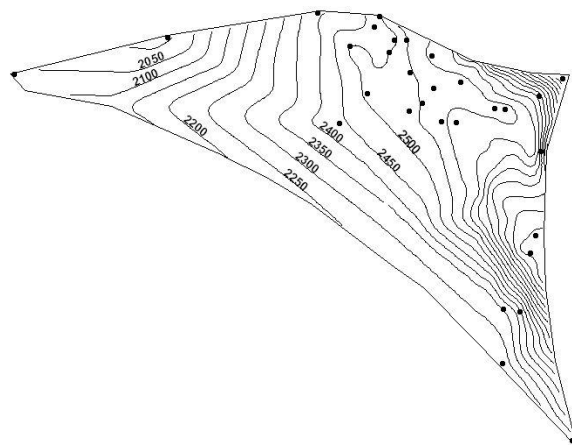
Апробація методу проводилась на множині відміток покрівлі картамиської світи нижньопермського відділу однієї з ділянок Дніпровсько-Донецької западини. На рис. 3.8(а-г) показане послідовне уточнення шуканої поверхні по мірі зростання кількості ітерацій. На рис. 3.8(д) показана модель покрівлі картамиської світи, отриманої методом сплайн-апроксимації на тій же множині вихідних точок. На рис. 3.8 (е) показана триангуляція, яка отримана на 5-й ітерації і відповідає моделі рис. 3.8 (г).

Метод за своєю природою забезпечує інтерполяцію значень у вихідних точках вже на першій ітерації. Із збільшенням числа ітерацій модель отримана за описаною методикою наближається до моделі, отриманої методом сплайн-апроксимації на об'єднаному масиві вихідних і модельних точок. В лівій частині ділянки (рис. 3.8) маємо певну різницю у властивостях

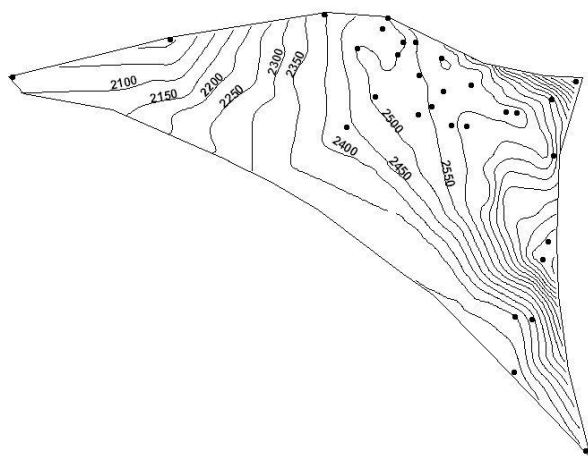
моделей (градієнти поверхонь тут близькі до ортогональних) , яка, на нашу думку, свідчить на користь методу лінійної інтерполяції на триангульованій області. Ця думка обґрунтовується тим, що описаний метод не вносить в модель властивостей, не закладених у вихідних даних, що є необхідною умовою побудови адекватної структурної моделі при відсутності апріорної інформації.



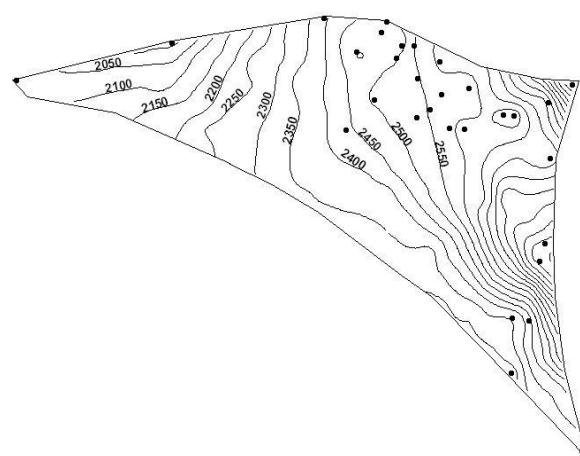
(a)



(б)



(в)



(г)

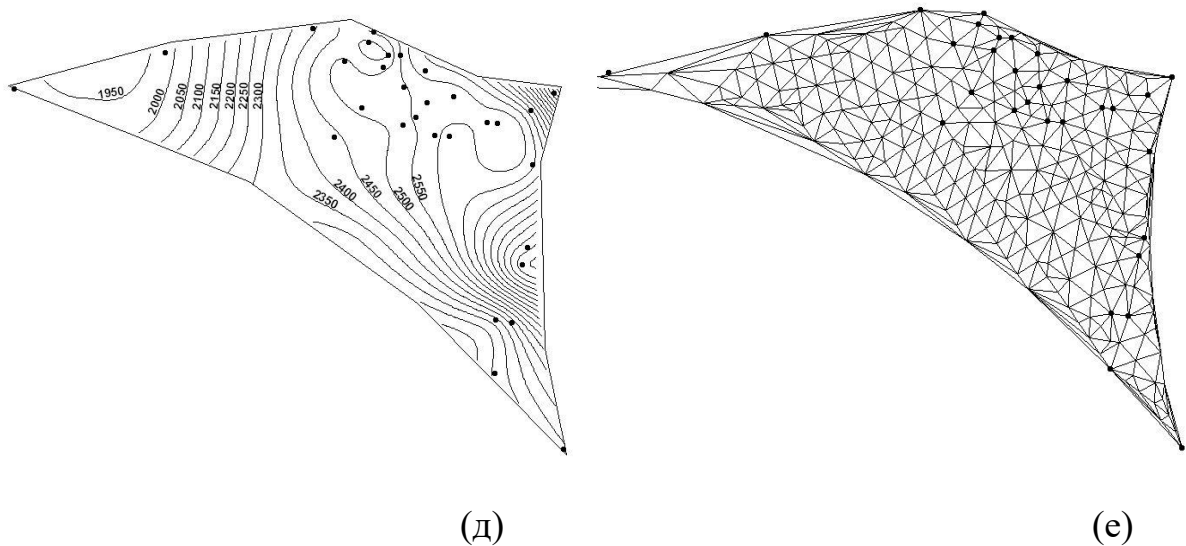


Рис. 3.8. Результати апробації методу на множині відміток покрівлі картамиської світи нижньопермського відділу однієї з ділянок Дніпровсько-Донецької западини. Точками показані свердловини

3.3. Проектування та програмна реалізація методів просторового аналізу цифрових моделей регіональних геологічних об'єктів

Це найчисленіша група задач, до складу якої входять алгоритми розрахунку просторових статистичних параметрів, просторової кореляції-регресії, обчислення площ і об'ємів геологічних тіл і ділянок, виділених в межах геологічних тіл, тощо. Опишемо лише найважливіші задачі цієї групи:

- парна просторова кореляція 2D моделей параметрів:
- картування (*просторова кластеризація*) - виділення в геологічному тілі об'єктів, однорідних в просторі вибраних параметрів:
- пошук (*просторова класифікація*) - виділення в геологічному тілі об'єктів із заданими властивостями в просторі вибраних параметрів.

3.3.1. Парна просторова кореляція 2D моделей параметрів

Задача розв'язується методами GRID класу ArcView, доступними з AVENUE-скрипта.

Вхідною інформацією для задачі є два ґриди – aGrid та a1Grid, отримані попередньо. Для розрахунку ґрида парної кореляції ґридів aGrid та a1Grid використовується відома в геостатистиці формула:

$$R = (1/n) * \sum \frac{(X - M_x) * (Y - M_y)}{S_x * S_y} = \frac{M_{xy} - M_x * M_y}{S_x * S_y}$$

Спочатку розраховується добуток:

$$XYGrid = aGrid * a1Grid$$

Потім визначається радіус осереднення значень у вузлах ґридів (кількість вузлів осереднення в даному прикладі – 5):

$$aNbrHood = NbrHood.MakeCircle(5, (false))$$

Далі методом FocalStats розраховуються M_{xy} , M_x , M_y , S_x , S_y і, нарешті, ґрид парної кореляції (R-ґрид):

$$XY_meanGrid = XYGrid.FocalStats(\#GRID_STATYPE_MEAN, aNbrHood, false)$$

$$X_meanGrid = aGrid.FocalStats(\#GRID_STATYPE_MEAN, aNbrHood, false)$$

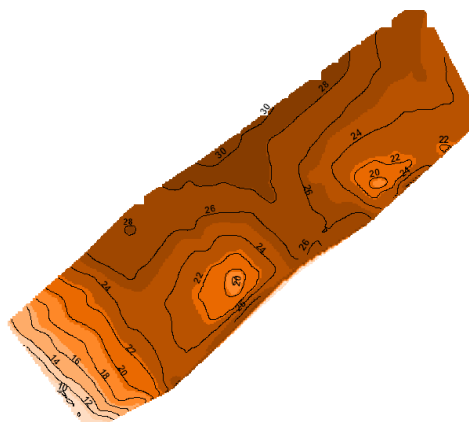
$$Y_meanGrid = a1Grid.FocalStats(\#GRID_STATYPE_MEAN, aNbrHood, false)$$

$$X_STDGrid = aGrid.FocalStats(\#GRID_STATYPE_STD, aNbrHood, false)$$

$$Y_STDGrid = a1Grid.FocalStats(\#GRID_STATYPE_STD, aNbrHood, false)$$

$$R_GRID = (XY_meanGrid - (X_meanGrid * Y_meanGrid)) / (X_STDGrid * Y_STDGrid)$$

Приклад роботи програми показано на рис. 3.9 (а,б,в)



(а)



(б)



(б)

Рис. 3.9. Карта парної просторової кореляції між покрівлею (а) і підшвою (б) геологічного тіла (кольором показано області з $| R | > 0.7$)

3.3.2. Просторова кластеризація

Задача кластеризації, і задача класифікації починаються з визначення багатовимірного простору параметрів. В термінах геоінформаційних технологій визначення множини параметрів має значні відмінності від традиційного “табличного” підходу, де вектор параметрів є набором скалярних величин, які для дискретних об’єктів в межах області дослідження визначають їх властивості важливі з точки зору цільової задачі. Аналогом таблиці об’єкти – властивості (параметри) в геоінформаційному підході виступає множина просторових ґридів (числових моделей) параметрів [1].

В геоінформаційній системі параметри діляться на дві групи. Перша представлена ґридами фізичних величин, отриманими шляхом апроксимації значень цих величин на дискретно розподілених в просторі об’єктах (полігональних, лінійних, точкових). Зазвичай це інтервали перетину продуктивних горизонтів із свердловинами, точки перетину свердловин з геологічними або геофізичними границями, полігони родовищ та структур. Ця група параметрів відповідає інформаційному простору при традиційному підході. Друга група містить ґриди відстаней від кожного вузла до об’єктів різної природи (в нафтогазовій геології це тектонічні порушення різного

порядку, генезису та азимуту, соляні штоки, осі тектонічних структур першого порядку, інші елементи геологічної карти).

Просторова кластеризація полягає у виділення в геологічному середовищі об'єктів, однорідних в багатовимірному просторі параметрів, що розглядаються. В нашій постановці задачі просторовій кластеризації підлягає кожний вузол регулярної мережі точок, яка покриває всю область дослідження. Просторова кластеризація в даній постановці задачі виконується на основі евристичних алгоритмів. Ми використовуємо два з них: кластеризація “по куту” і кластеризація “по відстані” у багатовимірному просторі параметрів. Неявно припускається, що параметри незалежні, тобто вісі координат в багатовимірному просторі ортогональні. Незалежність параметрів має забезпечуватися фахівцями предметної області на змістовному рівні. Формальна математична ортогоналізація, полягає в трансформації вихідного простору параметрів в штучний простір нових параметрів з діагональною кореляційною матрицею. Нові параметри при цьому представляються лінійними функціями вихідних параметрів, які в загальному випадку не піддаються змістовній геологічній інтерпретації, що власне і стоїть на перешкоді широкого практичного застосування математичної ортогоналізації простору параметрів, відомої в теорії розпізнавання образів як метод головних компонент або метод факторного аналізу.

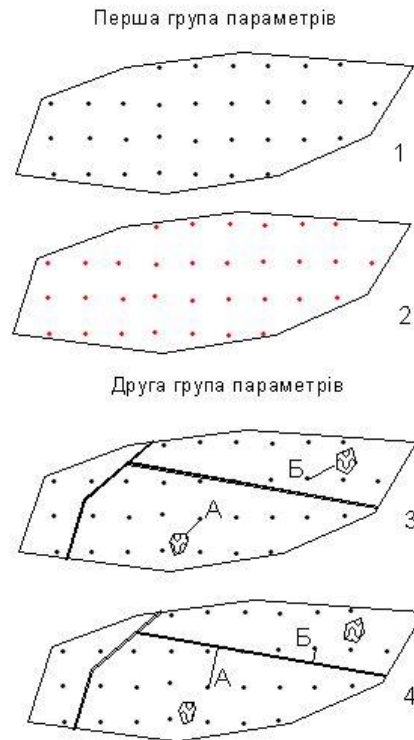


Рис. 3.10. Визначення багатовимірного простору параметрів в задачах кластеризації та класифікації в термінах геоінформаційних технологій

В межах кластеризації “по куту” припускається, що кожному об’єкту (вузлу регулярної точкової мережі) відповідає вектор в багатовимірному просторі параметрів, початок якого розміщується в центрі координат цього простору, а координатами кінця є значення параметрів на цьому об’єкті. Кластеризація “по куту” полягає у виділенні кластерів що об’єднують об’єкти, вектори яких утворюють вузький пучок в просторі параметрів (рис. 3.11). “Кут” між векторами X та Y в багатовимірному просторі параметрів розраховується на базі формули скалярного добутку двох векторів.

$$\cos(L) = \frac{X * Y}{|X| * |Y|}$$

$$X = \{ X_1, X_2, \dots, X_I, \dots, X_N \}, \quad Y = \{ Y_1, Y_2, \dots, Y_I, \dots, Y_N \}$$

$|X|$, $|Y|$ - довжини векторів X та Y

При цьому в один кластер можуть попадати об’єкти з різко відмінними значеннями параметрів, проте з високими значеннями коефіцієнтів парної

кореляції (тобто об'єкти, вектори яких однаково орієнтовані в просторі параметрів).

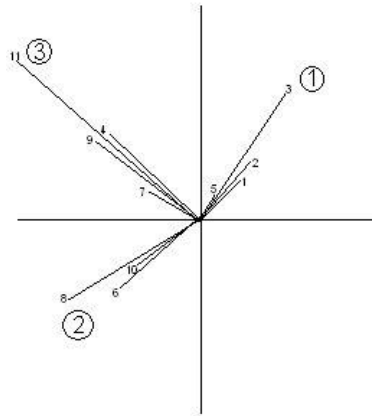


Рис. 3.11. Кластеризація “по куту” в площині двох параметрів. Цифрами в кружках показані номери кластерів, малими цифрами – номери об’єктів

В термінах методу кластеризації “по відстані” в один кластер об’єднуються близькі в багатовимірному просторі параметрів об’єкти (вузли регулярної точкової мережі). Об’єкти в межах цього підходу представляються точками в просторі параметрів. Положення об’єкту (вузла точкової мережі) в багатовимірному просторі параметрів визначається значеннями параметрів на об’єкті. Мірою близькості об’єктів в багатовимірному просторі параметрів є евклідова відстань:

$$\sum (X_i - Y_i)^2$$

X_i, Y_i – i -ті координати векторів класів X та Y

або відстань Махаланобіса (відома в математичній статистиці метрика:

$$\frac{|X - Y|}{E_x * E_y}$$

X, Y – вектори середніх значень пари класів, E_x, E_y – коваріаційні матриці цих класів. Якщо в класі один об’єкт, його коваріаційна матриця перетворюється в скаляр рівний 1.

В один кластер попадають об'єкти, які утворюють в просторі параметрів щільну групу (рис. 3.12).

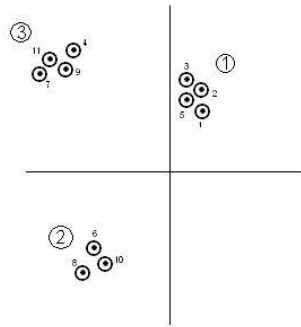


Рис. 3.12. Кластеризація по “відстані” в площині двох параметрів. Цифрами в кружках показані номери кластерів, малими цифрами – номери об’єктів

Для реалізації процедури власне кластеризації використовується відомий в теорії розпізнавання образів алгоритм ієрархічної кластеризації.

Вихідний стан системи - кількість класів дорівнює кількості об’єктів - N , які ототожнюються з класами. Для кластеризації об’єктів використовується ітераційний процес. На i -й ітерації два найближчі в просторі параметрів класи об’єднуються в один клас, для якого розраховується середній вектор або центр ваги класу (в залежності від методу, який застосовується). Число класів на i -й ітерації стає рівним $N-i$. Процес завершується, коли відстань між класами стає більшою за задану порогову величину. Об’єкти класів, які після цього складаються тільки з одного об’єкту, вважаються не кластеризованими.

В методі ієрархічної кластеризації класи “ростуть” одразу навколо кількох “центрів кристалізації”. Основна проблема методу ієрархічної класифікації – великі витрати часу на розрахунки. На i -й ітерації число операцій по визначенню відстаней (кутів) між парою об’єктів становить $(N-i)!$.

Альтернативний метод можна назвати методом послідовної кластеризації. Центром “кристалізації” першого класу вибирається довільний

об'єкт. Кількість об'єктів в ньому зростає шляхом приєднання найближчих по відстані або куту об'єктів. Процес нарощування класу продовжується до тих пір, поки відстань (кут) між центром класу і черговим найближчим об'єктом виявляється більше заданого. Цей об'єкт стає центром кристалізації наступного класу, число об'єктів в якому нарощується так само як і в попередньому. Процес кластеризації продовжується до повного вичерпання об'єктів. Так само як і в методі ієрархічної кластеризації, об'єкти класів, які після завершення процесу складаються тільки з одного об'єкту, вважаються не кластеризованими.

Метод відрізняється від попереднього набагато меншими витратами часу на обчислення. На i -й ітерації число операцій по визначенню відстаней (кутів) між парою об'єктів становить $(N-i)$, протягом усього процесу – $N!$ ітерацій, тобто стільки, скільки потрібно тільки на першій ітерації в методі ієрархічної класифікації.

Результатом кластеризації в геоінформаційній постановці є карта розподілу на площі дослідження кластерів, виділених за одним з розглянутих алгоритмів. Відстань (кут) між об'єктами кластеру менші за відстань (кут) між об'єктами різних кластерів. Останнім кроком в задачі кластеризації є змістовна інтерпретація (визначення природи) виділених кластерів.

3.3.3. Просторова класифікація

Просторова класифікація полягає у виділенні в геологічному середовищі об'єктів, із а ріорі заданими властивостями-параметрами, які визначаються координатами центрів ваги (середніми векторами) еталонних об'єктів, розташованих на площі дослідження в багатовимірному просторі параметрів, або абстрактними еталонними масивами значень параметрів, які є результатом експертних оцінок (в тому числі і взятими з літературних джерел). Як і в попередній задачі просторовій класифікації підлягає кожний вузол регулярної мережі точок, яка покриває всю область дослідження, або групи точок, об'єднаних полігональними чи лінійними природними

об'єктами. Результатом розв'язання задачі є карта розподілу об'єктів різних класів на площі дослідження [31].

Для реалізації задачі просторової класифікації нами використовуються евристичні алгоритми класифікації “по куту” і класифікації “по відстані” у багатовимірному просторі параметрів. Від розглянутих вище алгоритмів кластеризації “по куту” і кластеризації “по відстані” вони відрізняються тим що “кут” вимірюється між вектором параметрів у вузлі, який розглядається, і середнім вектором класу, так само як і “відстань” вимірюється між точкою в багатовимірному просторі параметрів, яка на площі дослідження відповідає вузлу, і середньою точкою (центром ваги) класу. Клас для вузла визначається мінімальним кутом (мінімальною відстанню).

3.4. Проектування та програмна реалізація методів візуалізації цифрових моделей регіональних геологічних об'єктів

Як вже згадувалося, 3D геологічна модель складається з набору ґридів геологічних границь, схематично показаних на рис. 3.13, і набору ґридів літологічних і ємнісних параметрів шарів, визначених в просторі між геологічними границями.

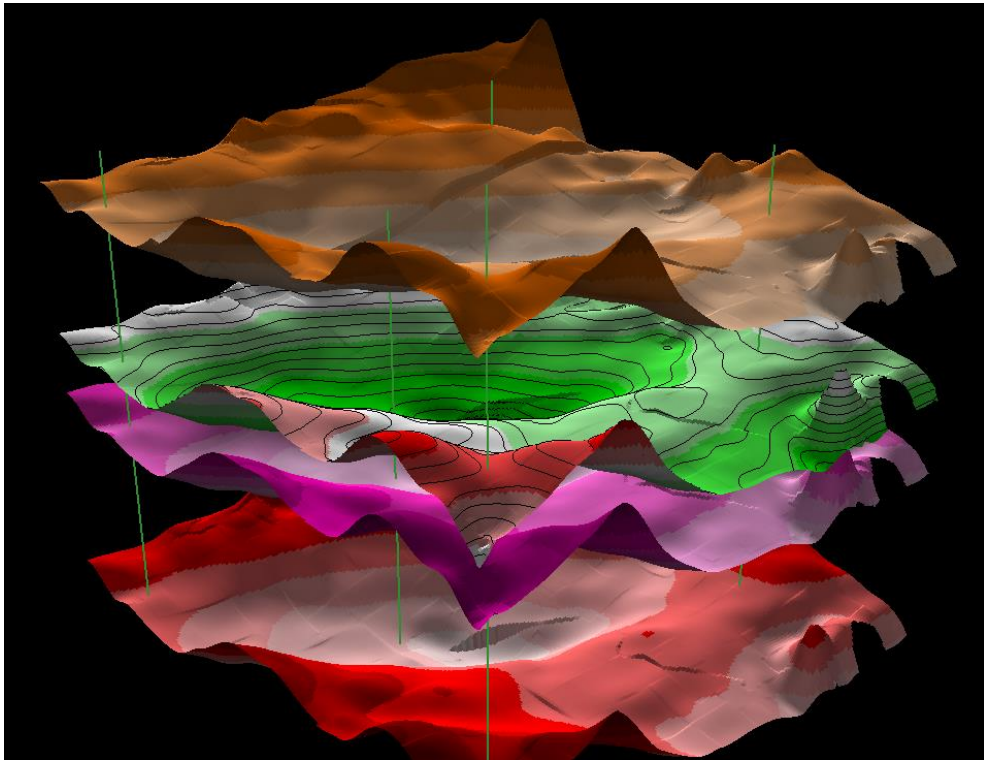


Рис. 3.13. Гріди геологічних границь – складові 3D геологічної моделі об'єкта

Розглянемо результати роботи програм візуалізації розробленого комплексу на прикладі 3D регіональної геологічної моделі нижньопермського відділу пермської системи Дніпровсько-Донецької западини. Структурний каркас відділу представлений 2D ґрідами внутрішніх поверхонь-границь (зверху-вниз): покрівля краматорської світи, покрівля слов'янської світи, покрівля микитівської світи, покрівля картамишської світи, підосва картамишської світи.

На рис. 3.14 представлено геологічну карту нижньопермських відкладів Дніпровсько-Донецької западини на зрізі –2500м.

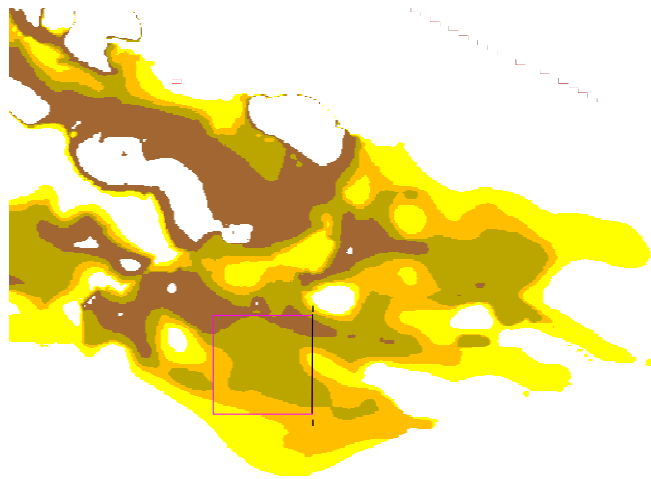


Рис. 3.14. Геологічна карта нижньопермських відкладів на зрізі –2500м

Карту отримано для всього регіону, шари порід, що складають комплекс, задаються в діалозі. Гріди повинні розташовуватися в робочому View починаючи зверху самою молодшою границею (покрівлею краматорської світи) і закінчуючись самою старшою границею (підшовою картамишської світи). Побудова карти здійснюється з допомогою методів класу GRID ArcView. Для побудови карти після таким чином окресленої інформації користувачу достатньо тільки визначити значення зрізу. В загальному випадку карти можуть бути побудовані і на не горизонтальних геологічних границях, наприклад, поверхнях неузгодження (при цьому будуються карта підстилаючих відкладів і карта перекриваючих відкладів).

3.4.1. Алгоритм побудови горизонтального зрізу

Програмне забезпечення візуалізації містить в собі засоби побудови 2D розрізів (рис. 3.15). Розрізи будуються вздовж довільних ламаних ліній, проведених в межах ділянки з допомогою графіки ArcView.

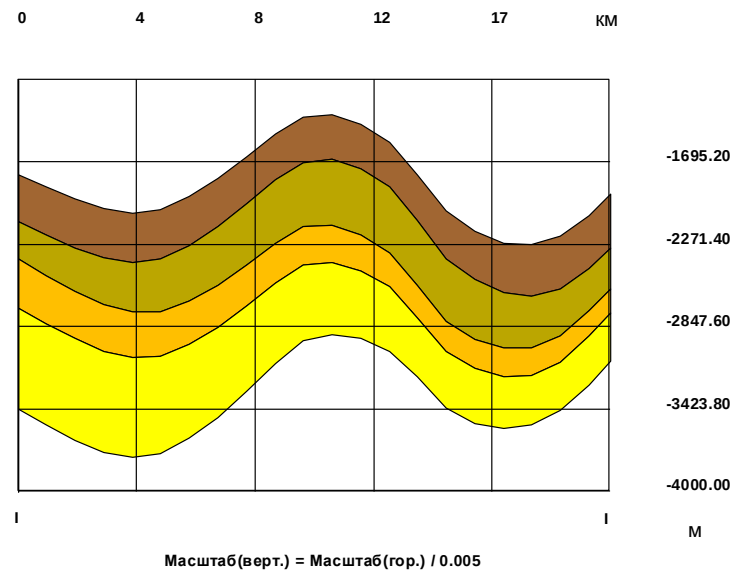


Рис. 3.15. Геологічний розріз по лінії I – I
(лінія розрізу показана на рис. 3.14)

Першим кроком в побудові є створення ґриду **horgrid** із значення горизонтального зрізу:

horgrid=Grid.MakeFromNumb(Hor)

Основна операція – побудова цілочисленого ґриду **mapgrid** з допомогою методу ґрид-класу *GridsLessThan*:

mapgrid=horgrid.GridsLessThan(g_list)

Значення у вузлі ґриду **mapgrid** чисельно дорівнює кількості поверхонь із списку *g_list*, які в цьому вузлі лежать нижче відмітки горизонтального зрізу **horgrid**. Отже значення у вузлі – суть номер поверхні, якщо починати нумерацію з самої нижньої, яка є підшвою шару, що виходить на поверхню (рис. 3.16). На рисунку зверху показано розріз, знизу – відповідний йому план із лінією розрізу.

Остання операція – генерація полігональної теми, яка відповідає побудованому на попередньому етапі ґриду:

restheme = *mapgrid.AsPolygonFTab* ("c:\poltheme").*AsFileName*, true, aPrj)

В атрибутивній таблиці *restheme* зберігається номер поверхні (шару)

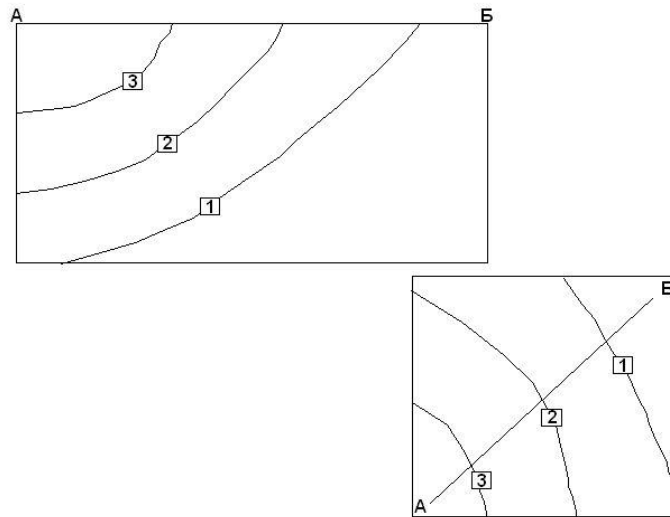


Рис. 3.16. Нумерація геологічних границь і шарів, що знаходяться між ними, в задачі побудови карти на горизонтальному зрізі.

3.4.2. Алгоритм побудови вертикального зрізу

Процедура побудови вертикального розрізу розпадається на ряд послідовних операцій.

1. Розрахунок значень всіх ґрид-поверхонь в регулярно розташованих на трасі розрізу точках із кроком dl .
2. Перерахунок точок в систему координат розрізу (рис. 3.17). 0-абсциса відповідає початку лінії розрізу. 0-ордината – 0-абсолютній відмітці. Координати X_1 , Y_1 розраховуються за формулами:

$$X_1 = (i - 1) * dl, \quad Y_1 = Z$$

де dl – крок дискретизації по лінії розрізу, i – номер кроку, Z – відмітка границі в точці X_1 , Y_1 .

3. Побудова проміжних полігонів.
4. Для кожної пари проміжних полігонів виконується операція ґрид-класу Difference, яка перетворює проміжні полігони (3) в полігональну тему суміжних шарів, обмежених вихідними геологічними границями:

pppp1.ReturnDifference(pppp2)

де *pppp1* - більший за площею полігон

Операції (3), (4) проілюстровані рис. 3.18.

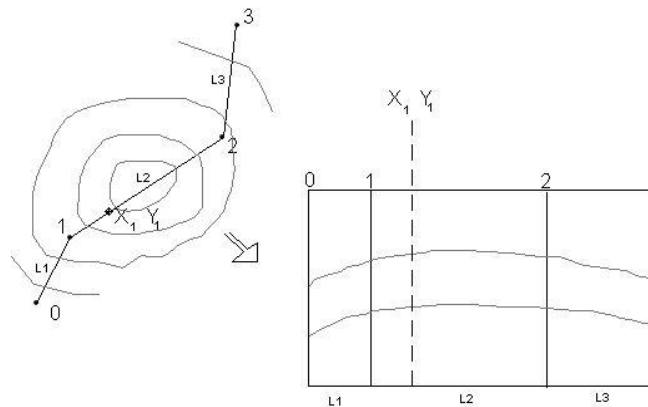


Рис. 3.17. Перерахунок точок на розрізі в систему координат розрізу.

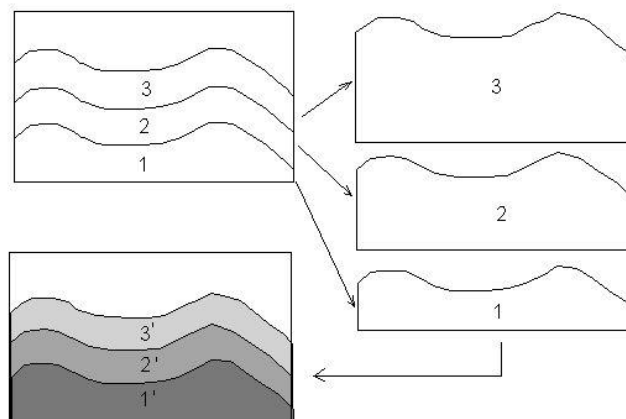


Рис. 3.18. Метод побудови шарів (полігональних об'єктів), обмежених геологічними границями

3.4.3. Алгоритм побудови аксонометричної проекції

Виділимо на карті прямокутником з допомогою графіки ArcView довільну ділянку дослідження. Тепер для цієї ділянки можна побудувати аксонометричну проекцію (рис. 3.19).

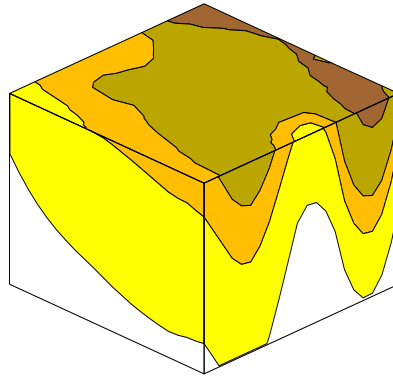


Рис. 3.19. Структурно-літологічний куб, вирізаний на ділянці, показаній на рис. 3.14. Аксонометрична проекція

Куб, вирізаний в геологічному тілі в проекції на горизонтальну площину є квадрат. Припускається, що точка огляду кубу, для якого будується аксонометрична проекція, знаходиться навпроти правої нижньої вершини квадрату (фокусу) по азимуту 135° .

Спочатку будується горизонтальний зріз верхньої грані і вертикальні розрізи зліва і справа від фокусу.

Наступним кроком координати зрізу і розрізів перераховуються в систему координат аксонометричної проекції. Точка x, y перераховується в точку x_1, y_1 за формулами:

Верхня грань

$$x_1 = x_0 + x_0 * \cos(L) + y_0 * \sin(L)$$

$$y_1 = y_0 + y_0 * \cos(L) - x_0 * \sin(L) + y_m$$

$$x_0 = (x - x_{dr}) + (y - y_{dr}) * \sin(L)$$

$$y_0 = (y - y_{dr}) - (x - x_{dr}) * \sin(L) * \cos(L) * (1 - \cos(L))^{-1}$$

тут y_m – величина горизонтального зрізу, x_{dr}, y_{dr} – координати фокусу, $L = 45^\circ$

Фрагмент Avenue-скрипта для перерахунку в систему координат аксонометричної проекції однієї границі на верхній грані виглядає наступним чином

```
for each s1_ in s_list
lsts=s1_.AsPolyline.AsMultiPoint.AsList
newlist={}
  for each el in lsts
    x1=(el.GetX-X)+((angle).Sin*(el.GetY-Y))
    y1=(el.GetY-Y)-((el.GetY-Y)*((angle).Sin)*(1/((angle).Cos)-1))
    x2=x1+(x1*angle.Cos)+(y1*angle.Sin)
    y2=y1+(y1*angle.Cos)-(x1*angle.Sin)+ymag
    newlist.Add(Point.Make(x2,y2))
  end
ttfm.SetValue(ttfm.FindField("Shape"),rec,Polygon.Make({newlist}))
end
end
```

Ліва грань

$$x_1 = -(D_1 - x_0) * \cos\left(\frac{L}{2}\right)$$

$$y_1 = y_0 + (D_1 - x_0) * \sin\left(\frac{L}{2}\right)$$

$$x_0 = \frac{(x - x_{\min}) * D_i}{x_{\max} - x_{\min}}$$

$$y_0 = y$$

тут D_i – полу діагональ ділянки аксонометричної проекції

$x_{\max}$, $x_{\min}$ – максимальна і мінімальна горизонтальні координати на розрізі лівої грані

Фрагмент Avenue-скрипта для перерахунку в систему координат аксонометричної проекції однієї границі на лівій грані виглядає наступним чином:

```
for each s_ in s_list
lsts=s_.AsPolyline.AsMultiPoint.AsList
newlist={}
  for each el in lsts
    x1=(el.GetX-X)+((angle).Sin*(el.GetY-Y))
    y1=(el.GetY-Y)-((el.GetY-Y)*((angle).Sin)*(1/((angle).Cos)-1))
    x2=x1+(x1*angle.Cos)+(y1*angle.Sin)
    y2=y1+(y1*angle.Cos)-(x1*angle.Sin)+ymag
    newlist.Add(Point.Make(x2,y2))
  end
ttfm.SetValue(ttfm.FindField("Shape"),rec,Polygon.Make({newlist}))
end
end
```

```

for each el in lsts
  x1=(el.GetX-xmin)/(xmax-xmin)*Dl
  y1=el.GetY*coef
  x2=-((Dl-x1)*(L/2).Cos)
  y2=y1+((Dl-x1)*(L/2).Sin)
  newlist.Add(Point.Make(x2,y2))
end
rrr=Polygon.Make({newlist})
if(rrr.Intersects(ppp))then
  qq=rrr.ReturnIntersection(ppp)
  alllist.Add(qq.AsPolyline.AsMultiPoint.AsList)
end
end
if(alllist.Count>0)then
  ttlm.SetValue(ttlm.FindField("Shape"),rec,Polygon.Make(alllist))
else
  ttlm.GetSelection.Set(rec)
end
end

```

(coef – масштабний множник)

Права грань

$$x_1 = x_0 * \cos\left(\frac{L}{2}\right)$$

$$y_1 = y_0 + x_0 * \sin\left(\frac{L}{2}\right)$$

$$x_0 = \frac{(x - x_{\min}) * D_i}{x_{\max} - x_{\min}}$$

$$y_0 = y$$

Фрагмент Avenue-скрипта для перерахунку в систему координат аксонометричної проекції однієї границі на правій грані виглядає наступним чином:

```

for each s_ in s_list
  lsts=s_.AsPolyline.AsMultiPoint.AsList
  newlist={}
  for each el in lsts
    x1=(el.GetX-xmin)/(xmax-xmin)*DR
    y1=el.GetY*coef

```

```

x2=x1*(L/2).Cos
y2=y1+(x1*((L/2).Sin))
newlist.Add(Point.Make(x2,y2))
end
rrr=Polygon.Make({newlist})
if(rrr.Intersects(ppp))then
qqq=rrr.ReturnIntersection(ppp)
alllist.Add(qqq.AsPolyline.AsMultiPoint.AsList)
end
end
if(alllist.Count>0)then
ttrm.SetValue(ttrm.FindField("Shape"),rec,Polygon.Make(alllist))
else
ttrm.GetSelection.Set(rec)
end
end
(coef – масштабний множник)

```

3.4.4. Алгоритм побудови структурно-літологічного куба

Крім аксонометричної проекції, на якій ми бачимо тільки три грані статичного кубу, можна побудувати тривимірний куб, всі грані якого доступні для огляду за допомогою його в різних площинах. У кожний момент часу видимі тільки 3 грані. Фактично це нескінченна кількість аксонометричних проекцій, з яких ми можемо, обертаючи куб, вибрати проекцію з бажаними гранями в області видимості (наприклад, проекцію, на якій видима нижня грань кубу. Програма візуалізації літолого-стратиграфічного кубу розроблена в середовищі Delphi з інтерфейсом для вибору ділянки на карті і підготовки інформації для побудови кубу в ArcView. Зв'язок між програмними середовищами реалізується через DLL-технологію. Обмін інформацією між ArcView і DLL-процедурою здійснюється через текстовий файл, який програмно створюється в тимчасовій робочій директорії. Легенда для шарів кубу успадковується з геологічної карти, яка використовувалась для визначення ділянки дослідження. Після підготовки інформації і виклику DLL-процедури остання

завантажує вікно з власним інтерфейсом, елементи якого призначені для керування процесом обертання кубу [30].

Вихідною інформацією для побудови стратиграфічного кубу є текстовий файл, який містить координати полігонів, що утворюються при перетині гранями кубу шарів товщі геологічного тіла, та коди їх кольору згідно стратиграфічної легенди. Програма формування вихідного текстового файлу в якості вихідної інформації використовує набір ґридів геологічних границь.

Візуалізація стратиграфічного кубу, формально представленого створеним на попередньому етапі текстовим файлом виконується (після активації відповідної функції) в спеціальному вікні із власним інтерфейсом (рис. 3.20). Вікно має необхідні елементи управління для обертання кубу в трьох площинах, та регулювання швидкості обертання

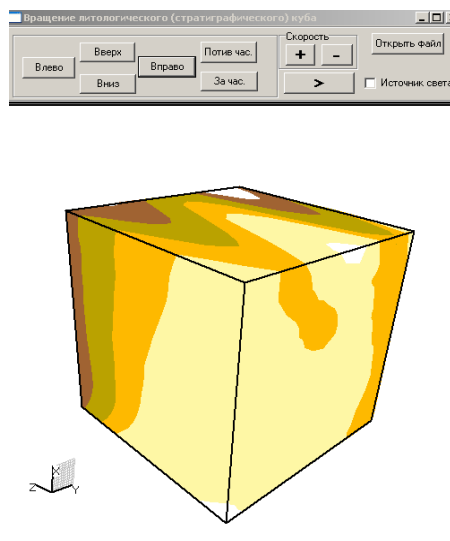


Рис. 3.20. Структурно-літологічний куб, вирізаний в геологічному об'єкті на карті графікою ArcView.

Для розрахунку нових координат всіх об'єктів, розташованих на гранях кубу після одного акту обертання навколо осі Z використовується формула 3.1:

$$C_1 = TC$$

$$\text{де } C_1 = [x_1, y_1, z_1, 1], \quad C = [x, y, z, 1],$$

$$T = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad 3.1$$

Така ж формула використовується для розрахунку координат при повороті навколо осі X на кут χ , при цьому матриця T має вигляд:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ 0 & -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad 3.2$$

У разі обертання навколо осі Y на кут ϕ матриця T має вигляд:

$$T = \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 & -\sin\phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\phi & 0 & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad 3.3$$

Кут повороту вважається додатнім, якщо куб обертається навколо осі X , Y , або Z за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з центру координат в напрямку відповідної осі (правило правої руки). Центр координат співпадає з центром кубу, а вісі орієнтовані перпендикулярно граням.

В кожний момент часу ми бачимо від однієї до трьох граней. Саме ці грані повинні перемальовуватися. Для цього застосовується алгоритм видалення невидимих ліній та поверхонь [30], який полягає в наступному:

Для кожної грані в кожному акті повороту знаходимо вектор нормалі, координати якого визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} x_n &= A.y * (B.z - C.z) + B.y * (C.z - A.z) + C.y * (A.z - B.z) \\ y_n &= A.z * (B.x - C.x) + B.z * (C.x - A.x) + C.z * (A.x - B.x) \\ z_n &= A.x * (B.y - C.y) + B.x * (C.y - A.y) + C.x * (A.y - B.y) \end{aligned}$$

де A, B, C – точки, які розташовані на одній грані

$A.x, A.y, A.z$ – координати точки A

$V.x, V.y, V.z$ – координати точки V

$C.x, C.y, C.z$ – координати точки C

Видимість певної грані визначається по куту між вектором напрямку погляду і нормаллю грані. Якщо косинус кута більший за 0 (що відповідає кутам повороту в градусах $0 - -90, 0 - +90$) грань видима, якщо менший за 0 (що відповідає кутам повороту $-90 - -180, +90 - +180$ градусів) – грань невидима.

Аналогічно працює і процедура 3D візуалізації поверхонь геологічних границь (рис. 3.21). Кольором на поверхні дані градації зміни значень Z -координати.

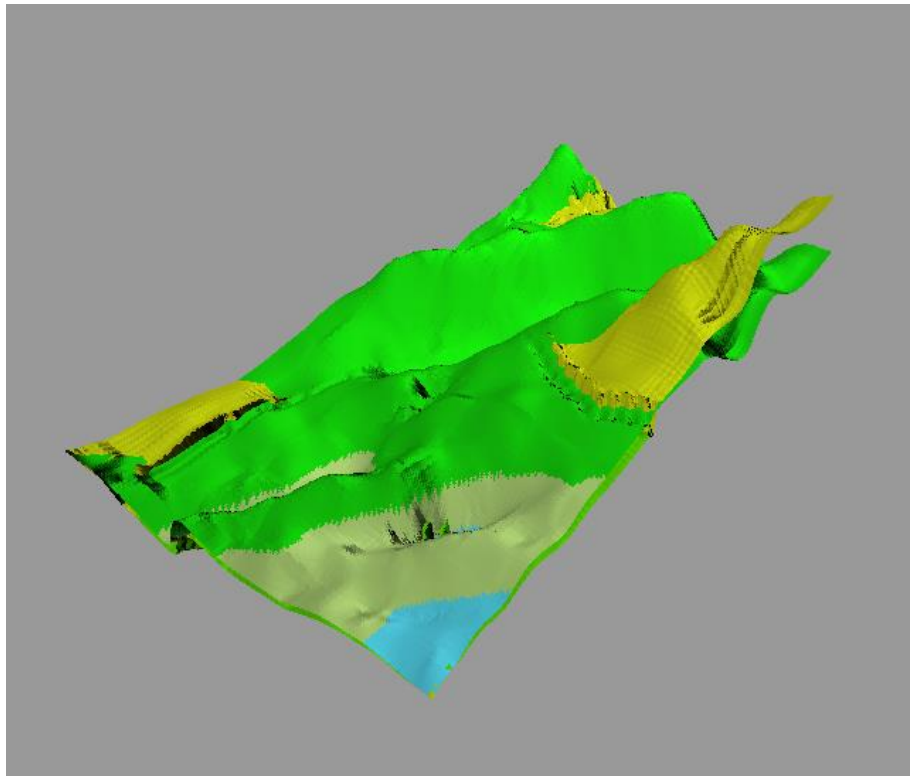


Рис. 3.21. Поверхня. 3D візуалізація.

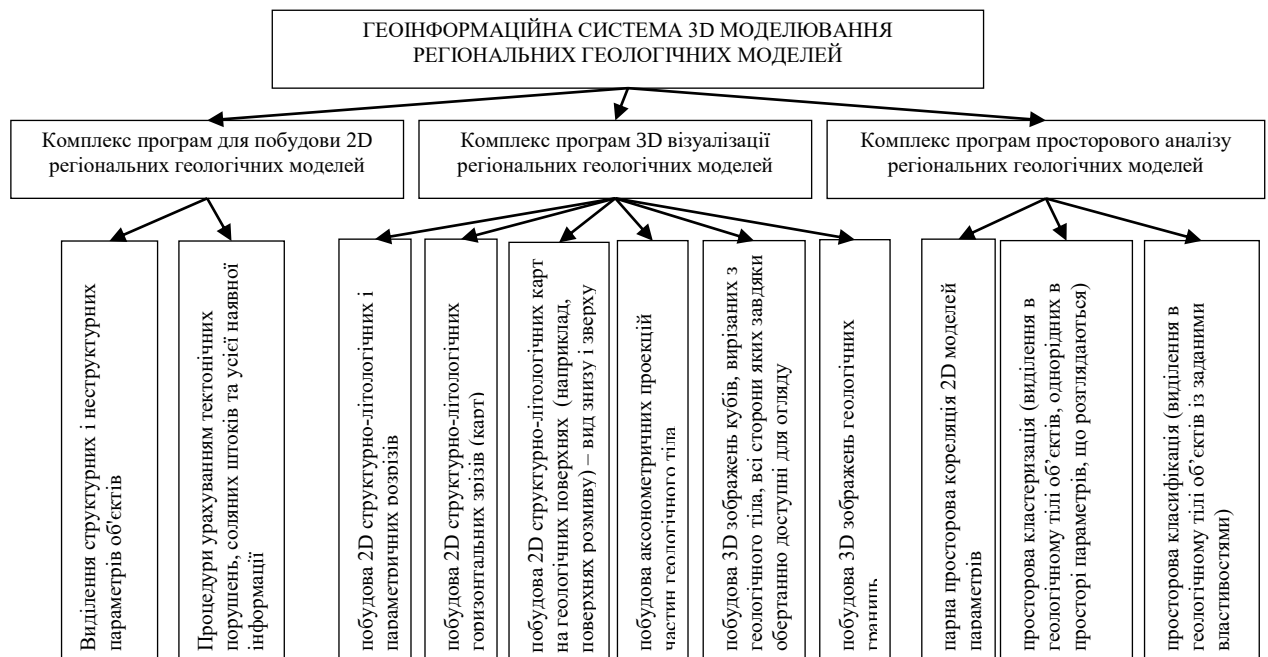
Всі описані вище алгоритми реалізовані в складі проекту ArcView 3.n – геоінформаційної системи для моделювання регіональних геологічних моделей.

РОЗДІЛ 4

АПРОБАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РЕГІОНАЛЬНОГО ГЕОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Апробація комплексу програм регіонального геологічного моделювання і візуалізації проводилась на геологічних об'єктах головного нафтогазоносного району України – Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). В тектонічному відношенні ДДЗ є авлакогеном – витягнутою вузькою западиною, обмеженою глибинними тектонічними порушеннями і заповненою осадовими товщами верхньопалеозойського та мезокайнозойського віку. За існуючим геолого-тектонічним районуванням ДДЗ поділяється на Північний борт, Південний борт та Центральний грабен. В межах Центрального грабену виділяють північну та південну прибортові зони. Основна частина родовищ вуглеводнів зосереджена в Центральному грабені. В межах названих структур виділяють тектонічні елементи вищого порядку – групи валів і западин. Три з цих тектонічних елементів були об'єктами для апробації розробленого і програмно реалізованого комплексу методів регіонального моделювання і оперування регіональними моделями. Вибір визначався наявною свєдловинною інформацією і прагненням продемонструвати працездатність комплексу в різних геологічних умовах.

Реалізація запропонованої методики зроблена на базі програмного комплексу у складі трьох взаємопов'язаних комплексів програм, адаптованих для розв'язання поставленої задачі, а саме.



Комплекс програм для побудови 2D моделей геологічних границь, літологічних та ємнісно-фільтраційних параметрів з урахуванням повного комплексу вихідної і апріорної інформації – Geomapping [19,20]. Комплекс розроблено в середовищі Fortran Power Station.

Комплекс програм 3D візуалізації моделей. Комплекс розроблено в середовищах Delphi та ArcView.

Комплекс програм просторового аналізу цифрових просторових моделей. Комплекс розроблено в середовищі ArcView.

В якості об'єкту моделювання в розрізі відкладів нами було обрано верхньопалеозойський регіонально нафтогазопродуктивний комплекс, який поділяється на три підкомплекси: нижньокам'яновугільний, середньокам'яновугільний та верхньокам'яновугільний-нижньопермський. Структурну основу комплексу складають просторові границі відділів кам'яновугільної, пермської та тріасової систем: підосви нижньокам'яновугільного (C_1), середньокам'яновугільного (C_2), верхньокам'яновугільного (C_3), нижньопермського (P_1), верхньопермського (P_2), нижньотріасового (T_1), середньотріасового (T_2). 2D моделі цих границь

будувались по свердловинних даних в середовищі програмного комплексу Geomapping [35-37].

Кластеризація і класифікація нафтогазоперспективних об'єктів в межах ділянок апробації проводилась в прострі чотирьох факторів: глибина покрівлі нижньокам'яновугільних відкладів, сучасний вертикальний температурний градієнт, локальна складова структурного тренду, максимальна температура прогріву продуктивної товщі (верхньовізейські шари нижньокам'яновугільних відкладів). Цифрова карта останнього фактору для значної частини ДДз запозичена з роботи [29]. Цифрові моделі інших факторів побудовані автором за свердловинними даними, отриманими в результаті пошуково-розвідувального розбурювання зон апробації.

В межах кожного з об'єктів буровими та сейсморозвідувальними роботами відкрито кілька нафтових, нафтогазових та нафтогазоконденсатних родовищ. Територія розбурена вкрай нерівномірно, пошукові і розвідувальні свердловини зосереджуються, в основному, в межах відкритих сейсморозвідкою антиклинальних структур. Такий розподіл інформації про об'єкт визначається існуючою методикою пошуків родовищ, яка на сьогоднішній день є оптимальною.

4.1. Талалаєвсько-Артюхівська група структур

Талалаєвсько-Артюхівська група структур належить до Північної прибортової зони в Північно-Східній частині ДДз (рис. 4.1).

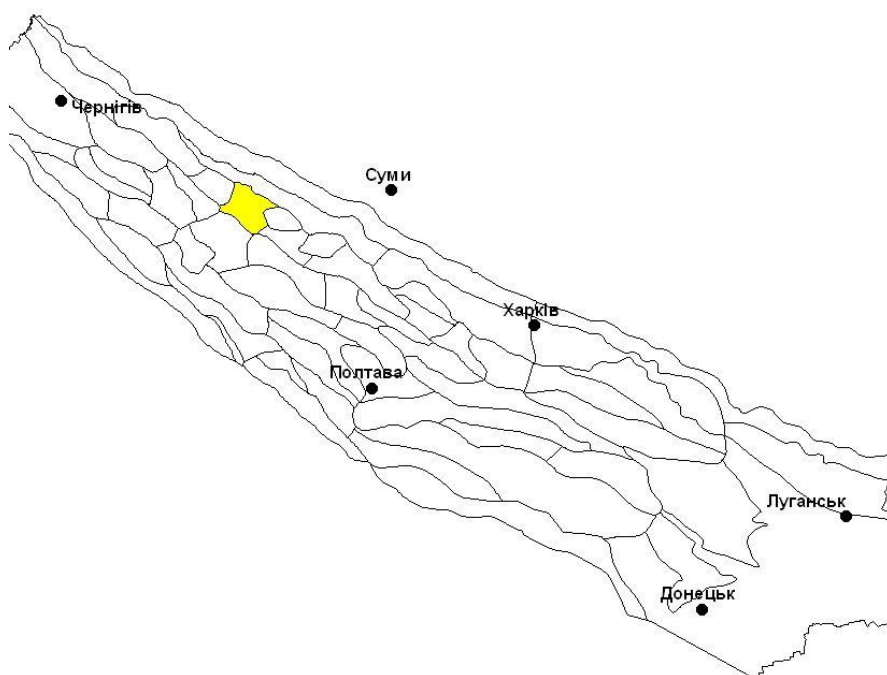


Рис. 4.1. Об'єкт дослідження (Талалаєвсько-Артюхівська група структур) в структурі ДДз

В межах даного району (рис. 4.2) буровими та сейсморозвідувальними роботами відкрито три нафтових та 10 нафтогазових і газоконденсатних родовищ.

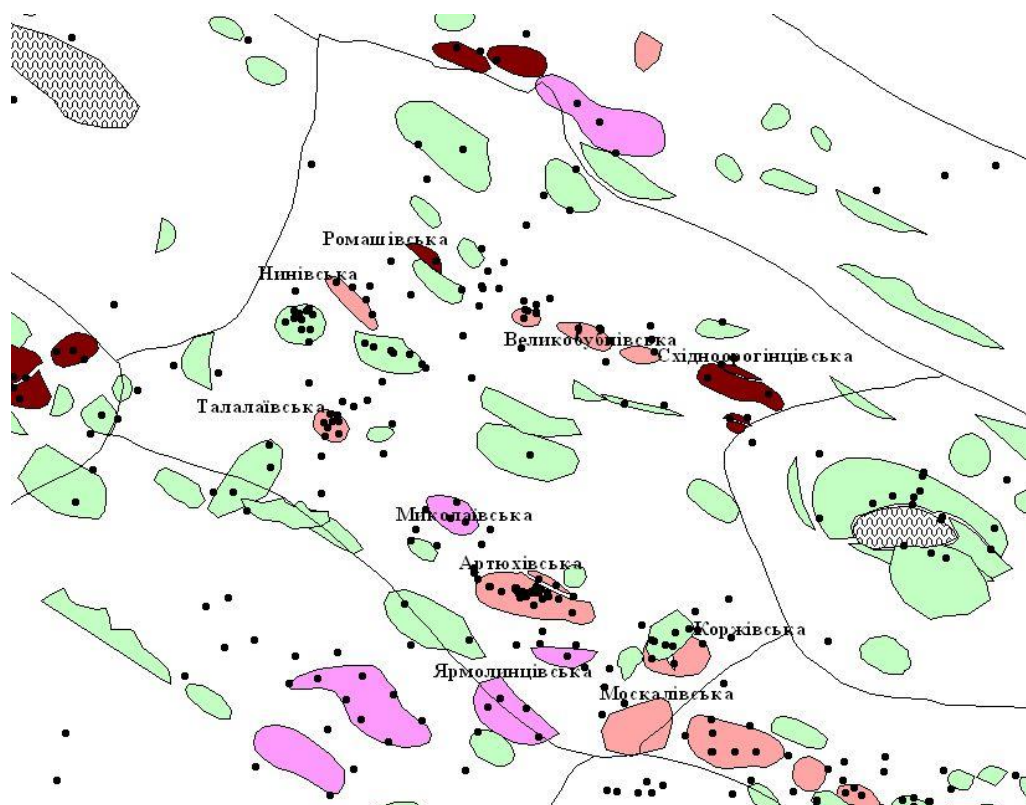


Рис. 4.2. Розподіл відкритих родовищ і непродуктивних структур (показані зеленим кольором) в межах об'єкту дослідження та ступінь вивченості його бурінням

На першому етапі незалежно одна від одної з використанням техніки автоаналога були побудовані структурні поверхні підосви S_1 , підосви S_2 , підосви S_3 , підосви P_1 , підосви T_1 . Далі виконувалось логічне погоджування (нормалізація) границь, суть якої полягала в автоматичному на основі алгебри поверхонь визначенні границь поширення та товщин відкладів кожного відділу. В основі нормалізації лежить логічний висновок, який полягає в тому, що більш молода границя не може бути нижчою за більш древню границю. Моделі нормалізованих границь показано на рис. 4.3-4.6.

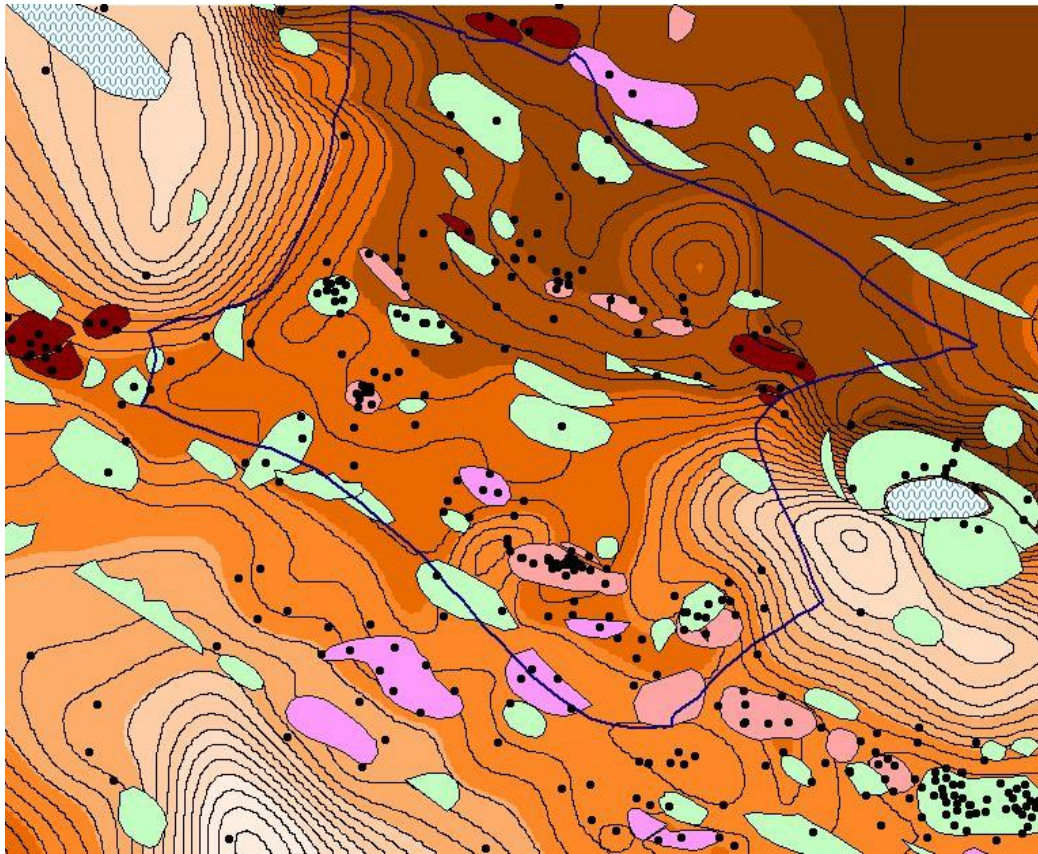


Рис. 4.3. Структурна карта по підосві відкладів нижньопермського відділу

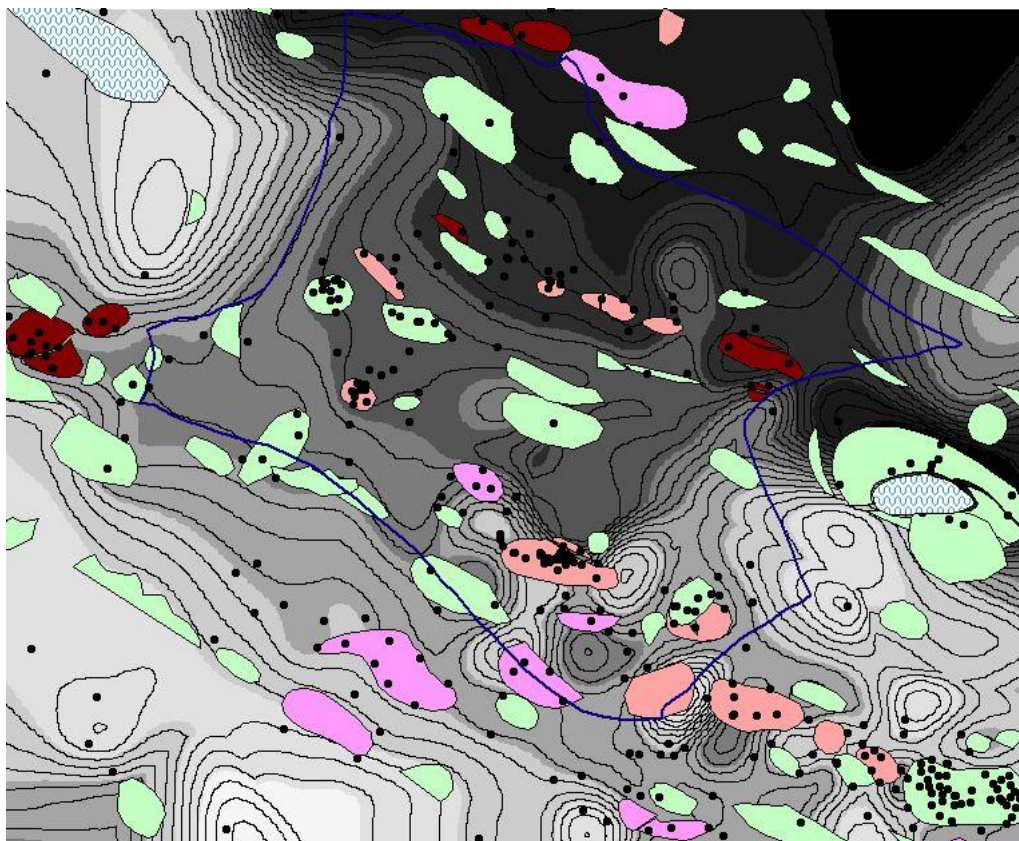


Рис. 4.4. Структурна карта по підшві відкладів верхньокам'яновугільного відділу

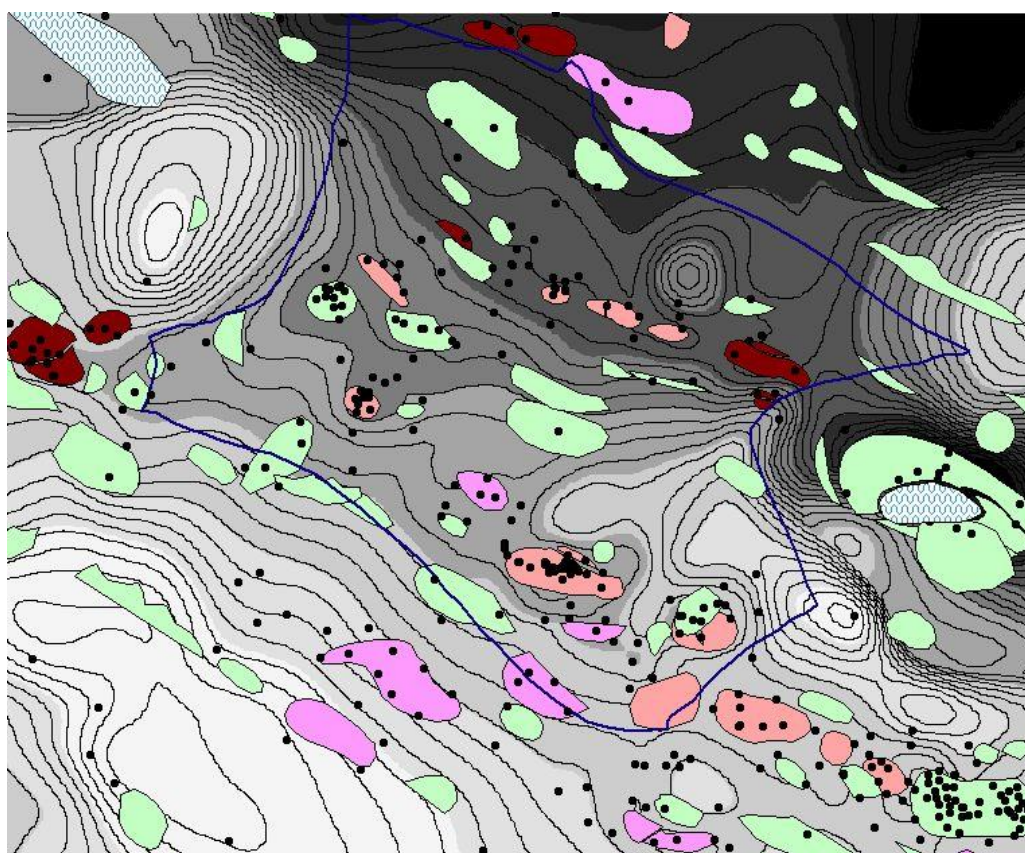


Рис. 4.5. Структурна карта по підшві відкладів середньокам'яновугільного відділу

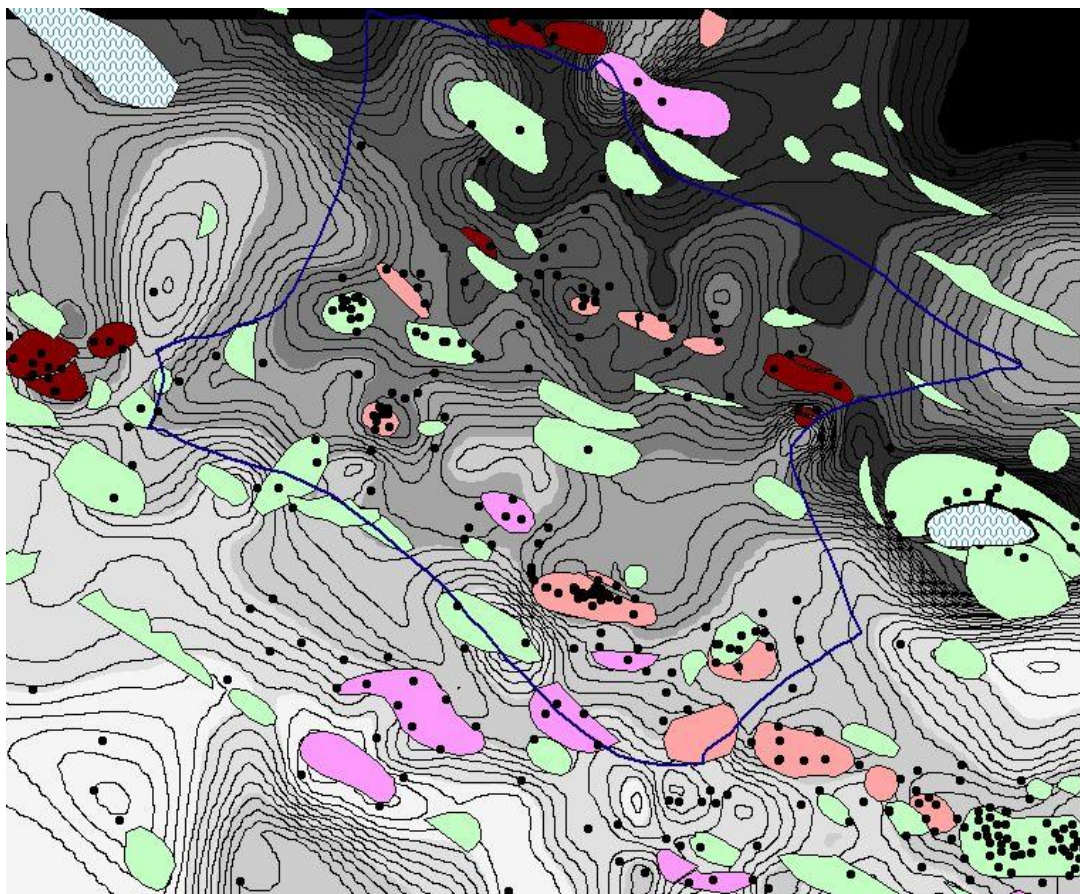


Рис. 4.6. Структурна карта по підосві відкладів нижньокам'яновугільного відділу

Для візуалізації моделі засобами розробленого програмного комплексу побудовані геологічна карта району на зрізі -2500м (рис. 4.7), геологічні розрізи по лініях I – I (рис. 4.8) і II – II (рис. 4.9).

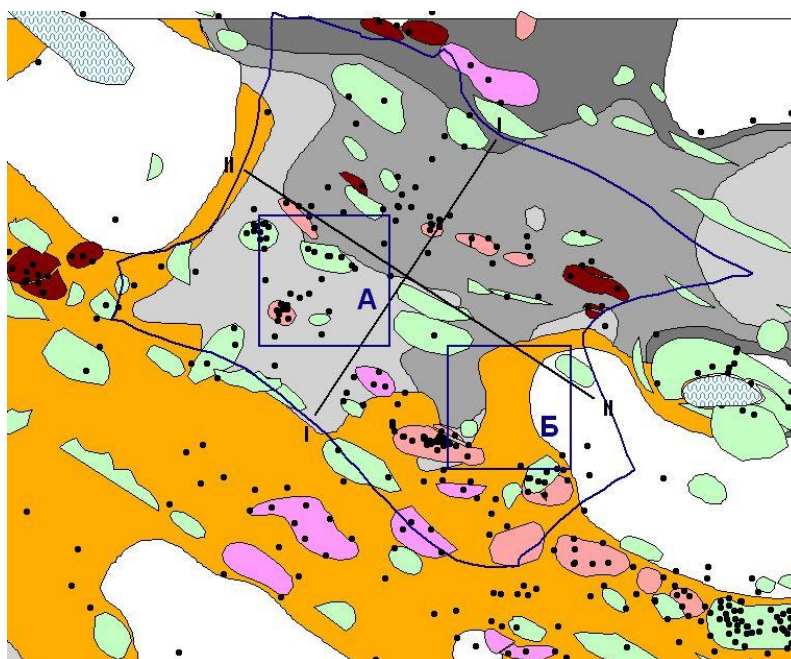


Рис. 4.7. Геологічна карта на зрізі -2500м

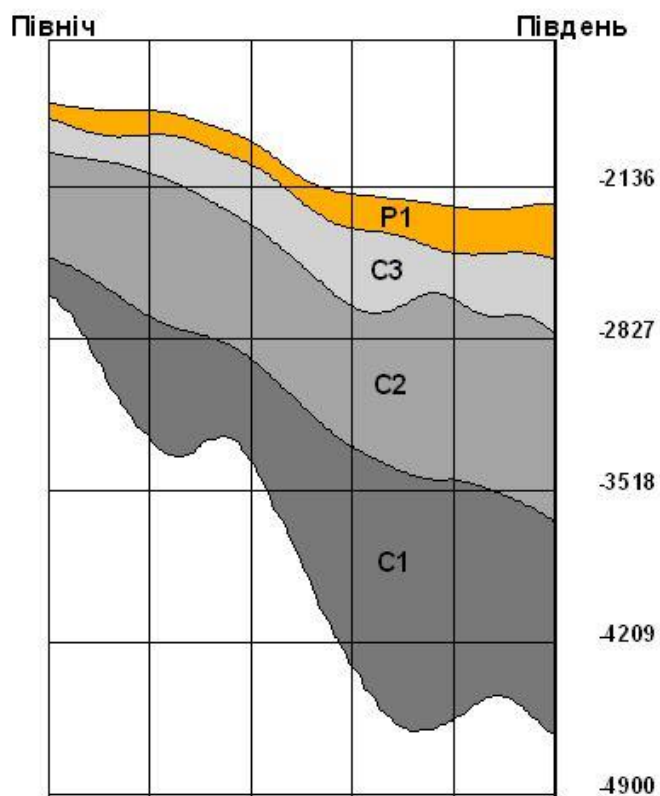


Рис. 4.8. Геологічний розріз по лінії I – I. Лінія розрізу показана на рис. 4.7

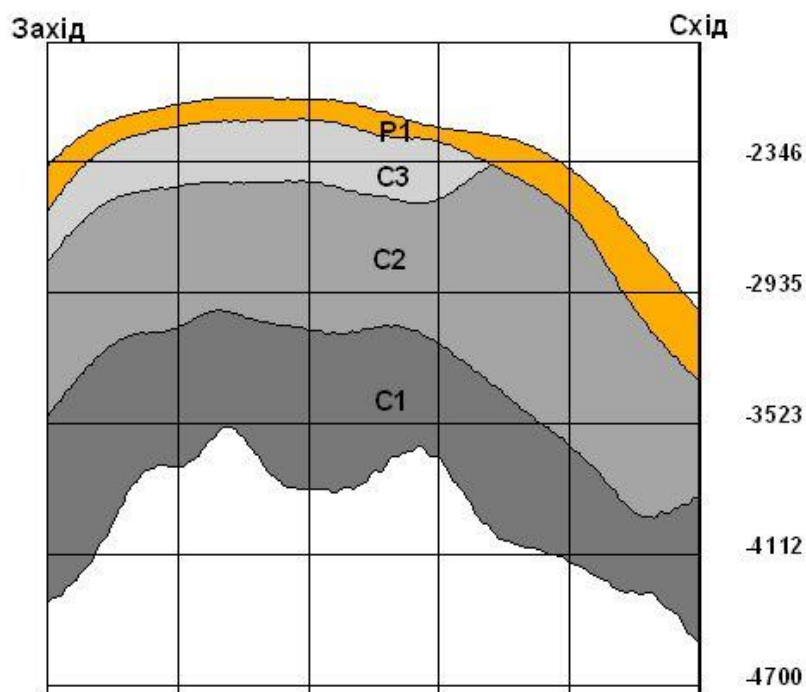


Рис. 4.9. Геологічний розріз по лінії II – II. Лінія розрізу показана на рис. 4.7

Для виділеного на геологічній карті графікою ArcView квадрата А (рис. 4.7) побудовано аксонометричну проекцію (рис. 4.10) та стратиграфічний куб (рис. 4.11).

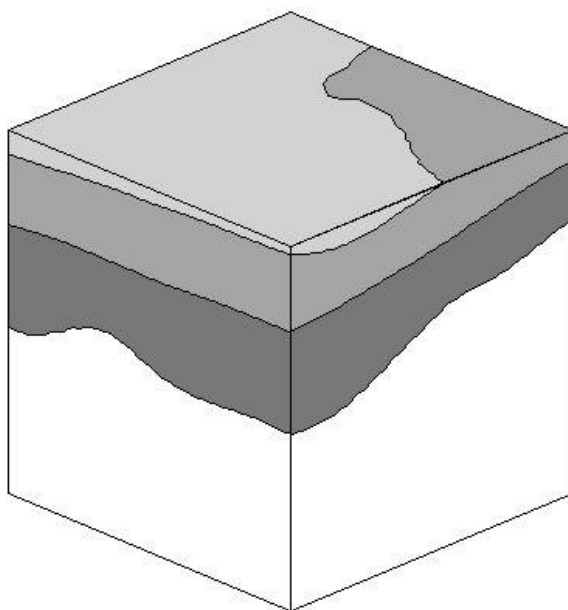


Рис. 4.10. Аксонометрична проекція (ділянка А)

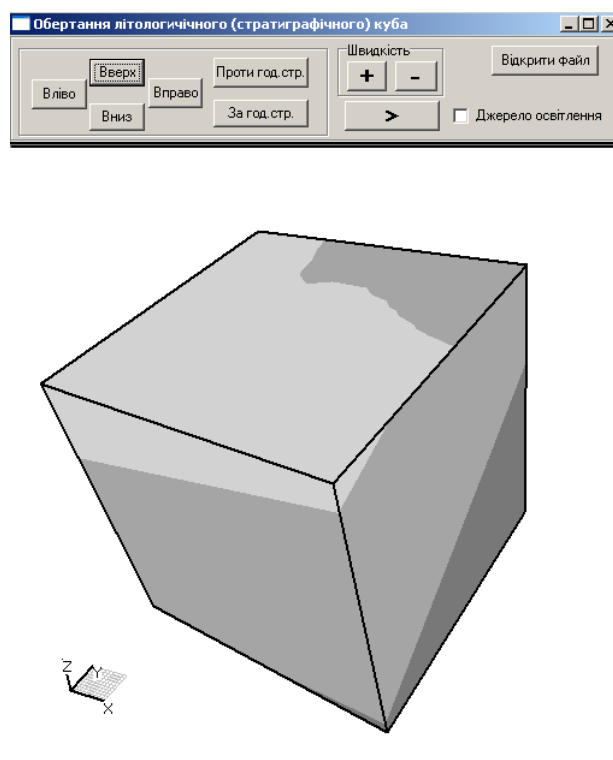


Рис. 4.11. Стратиграфічний куб (ділянка А)

Для виділеного на геологічній карті графікою ArcView квадрата **Б** (рис. 4.7) побудовано аксонометричну проекцію (рис. 4.12) та стратиграфічний куб (рис. 4.13).

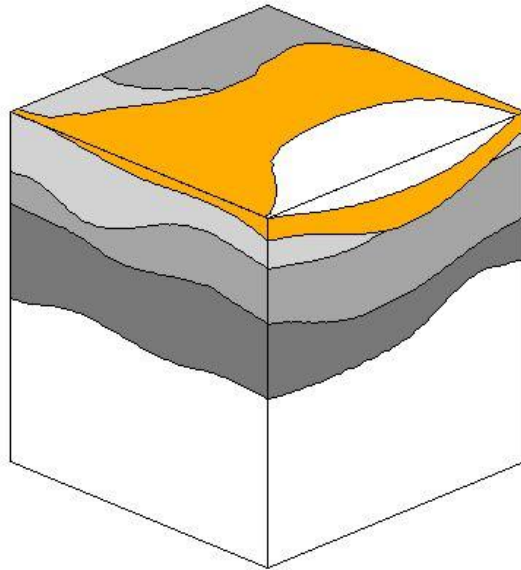


Рис. 4.12. Аксонометрична проекція (ділянка Б)

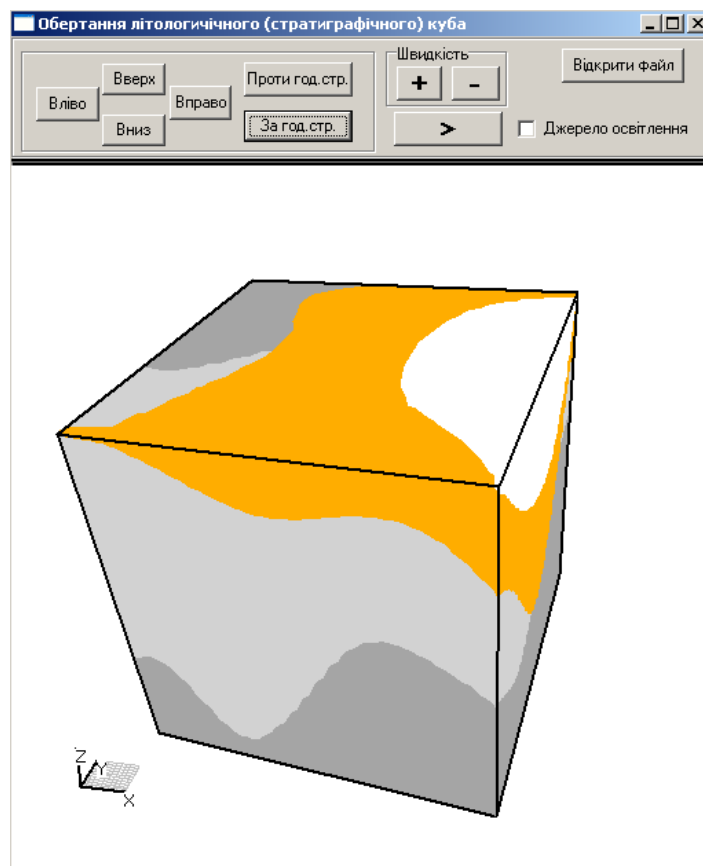


Рис. 4.13. Стратиграфічний куб (ділянка Б)

Для кластеризації території в просторі чотирьох факторів було проведено ряд експериментів методами кластеризації “по відстані” та “по куту” з метою підбору оптимальних параметрів. Нижче (рис. 4.14, 4.15) наведено результати кластеризації за оптимальними параметрами.

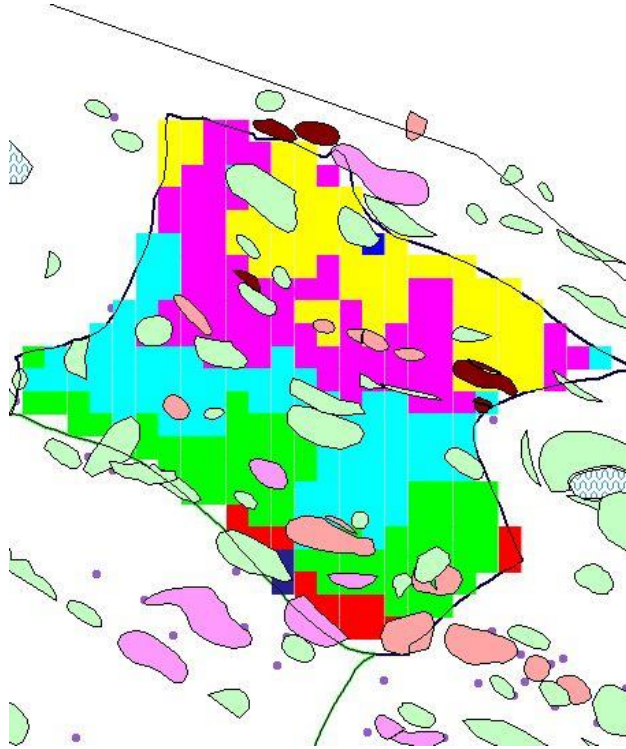


Рис. 4.14. Результати кластеризації “по відстані”. Гранична “відстань” – 250.

Умовні позначення дані на рис. 4.16

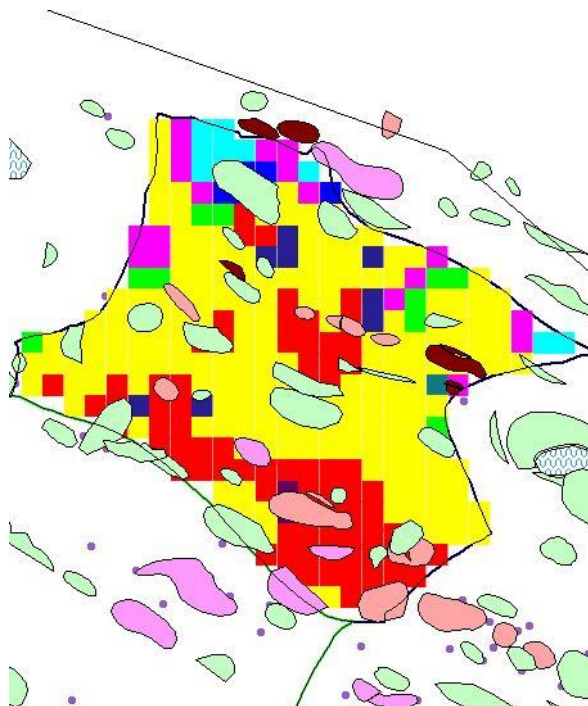


Рис. 4.15. Результати кластеризації “по куту”. Граничний “кут” – 0.15.

Умовні позначення дані на рис. 4.16



Рис. 4.16. Легенда до результатів кластеризації та класифікації

Результати кластеризації “по відстані” (рис. 4.14) демонструють зональність із збільшенням глибини залягання продуктивних відкладів і температури їх максимального прогріву в напрямку з північного сходу на південний захід (від прибортової до центральної частини ДДЗ). Водночас сучасний градієнт температури в цьому напрямку зменшується. І родовища і непродуктивні структури лежать приблизно на поверхні структурного тренду. Як видно з рис. 4.14, нафтогазоконденсатні і газоконденсатні родовища тяжіють до кластерів 5-7, які характеризуються вищим ступенем максимального прогріву продуктивних відкладів, більшою глибиною і дещо меншими значеннями сучасного градієнту температури порівняно із суміжним кластером 3. В той же час нафтогазоконденсатні і нафтові родовища просторово зв’язані із кластером 2, який характеризується таким ж тенденціями зміни факторів в просторі. З огляду на цей результат структури, які попадають в кластер 3, знаходяться в сприятливих умовах з точки зору генерації вуглеводнів, їх встановлена на сьогоднішній день непродуктивність пояснюється або недостатніми умовами для збереження покладу в пастці, або неякісним їх випробовуванням на етапі пошуків. Матеріали по цих структурах доцільно переглянути.

Результати кластеризації “по куту” (рис. 4.15) демонструють більшу диференціацію умов генерації покладів і відсутність тренду їх значень. Нафтогазоконденсатні і газоконденсатні родовища тяжіють до кластеру 6, який характеризується вищим ступенем максимального прогріву продуктивних відкладів, більшою глибиною і меншими значеннями сучасного градієнту температури порівняно із суміжними кластерами. В той же час нафтові родовища попадають в кластер 1 разом із непродуктивним структурами, тобто не розділяються цим методом.

Результати класифікації структур на два класи: продуктивні і непродуктивні, демонструються на рисунках 4.17, 4.18.

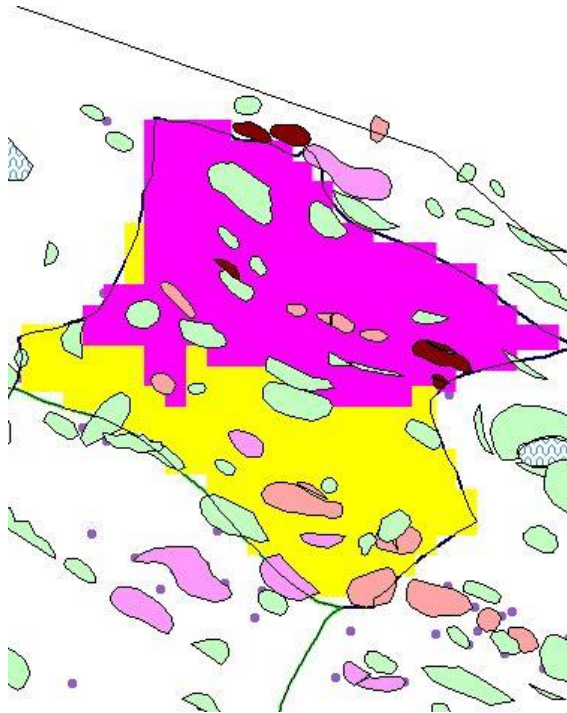


Рис. 4.17. Результати класифікації “по відстані”. Гранична “відстань” – 100.

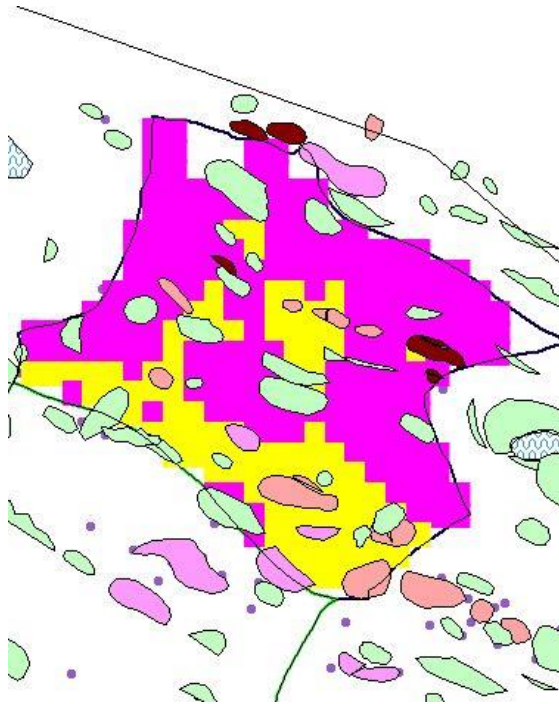


Рис. 4.18. Результати класифікації “по куту”. Граничний “кут” – 2.

Класифікація “по відстані” (рис. 4.17) в даному ознаковому просторі задовільно розділяє родовища на нафтові + нафтогазоконденсатні і газоконденсатні. Непродуктивні структури попадають в обидві зони, що свідчить про те, що необхідно враховувати умови збереження покладу в пастці.

Класифікація “по куту” (рис. 4.18) навпаки задовільно розділяє родовища і непродуктивні структури. Матеріали по непродуктивних структурах, які попали в продуктивну зону доцільно переглянути.

4.2. Срібненська западина

Срібненська западина знаходиться в зоні Центрального грабену ДДз (рис. 4.19).

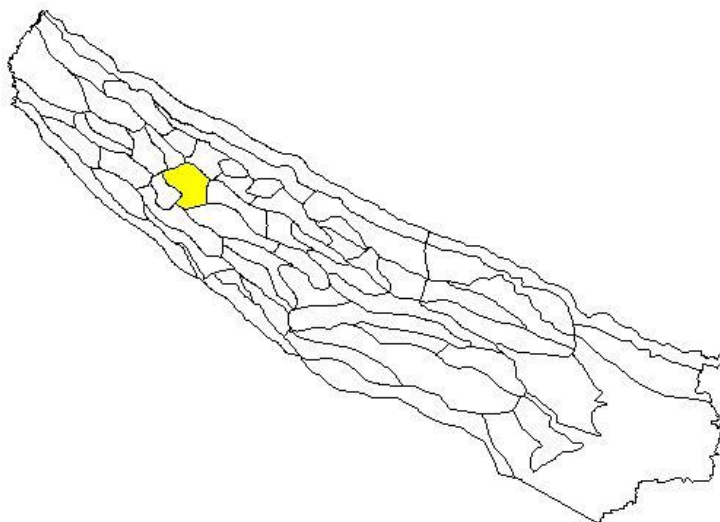


Рис. 4.19. Об'єкт дослідження (Срібненська западина) в структурі ДДз

В межах даного району (рис. 4.20) буровими та сейсморозвідувальними роботами відкрито 6 газоконденсатних родовищ.

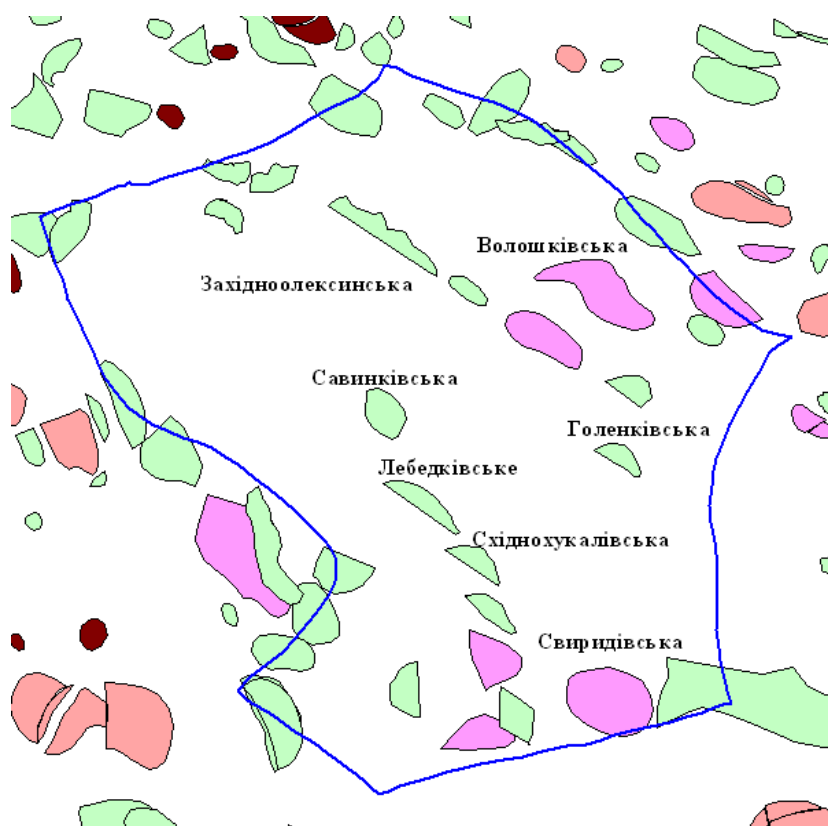


Рис. 4.20. Розподіл відкритих родовищ і непродуктивних структур (показані зеленим кольором) в межах об'єкту дослідження та ступінь вивченості його бурінням

На першому етапі незалежно одна від одної з використанням техніки автоаналога були побудовані структурні поверхні підосви C_1 , підосви C_2 , підосви C_3 , підосви P_1 , підосви T_1 , підосви T_2 . Далі виконувалось логічне погоджування (нормалізація) границь, суть якої полягала в автоматичному на основі алгебри поверхонь визначенні границь поширення та товщин відкладів кожного відділу. В основі нормалізації лежить логічний висновок, який полягає в тому, що більш молода границя не може бути нижчою за більш древню границю. Моделі нормалізованих границь показано на рис. 4.21-4.26.

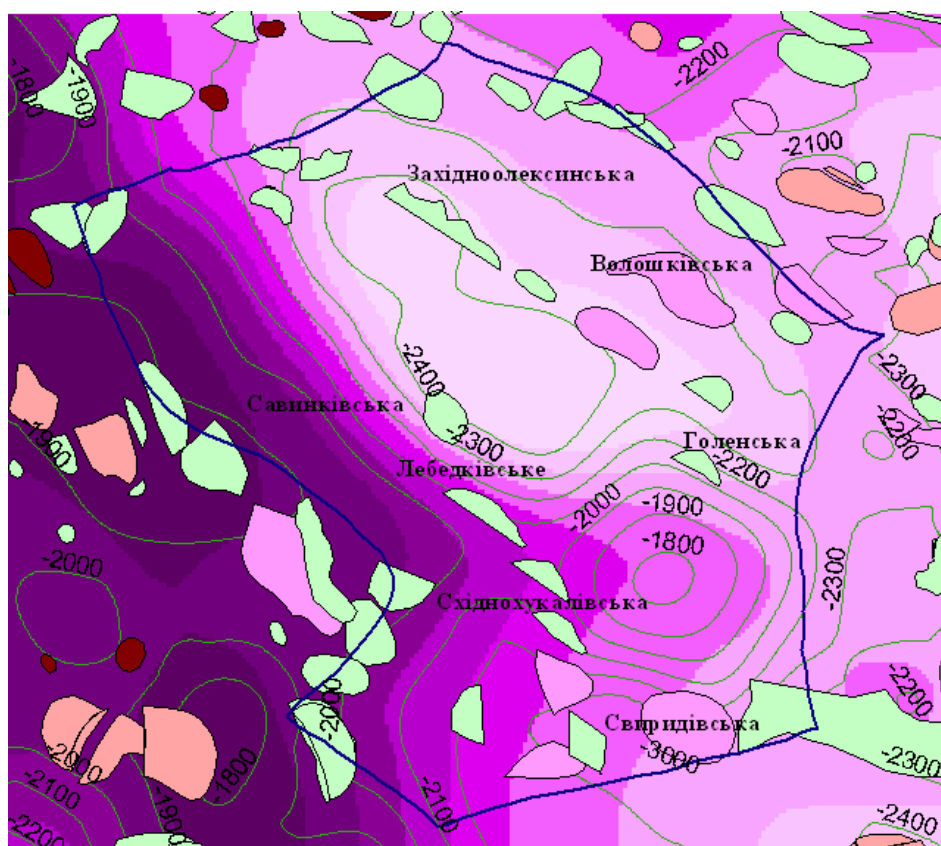


Рис. 4.21. Структурна карта по підосві відкладів середньотріасового відділу

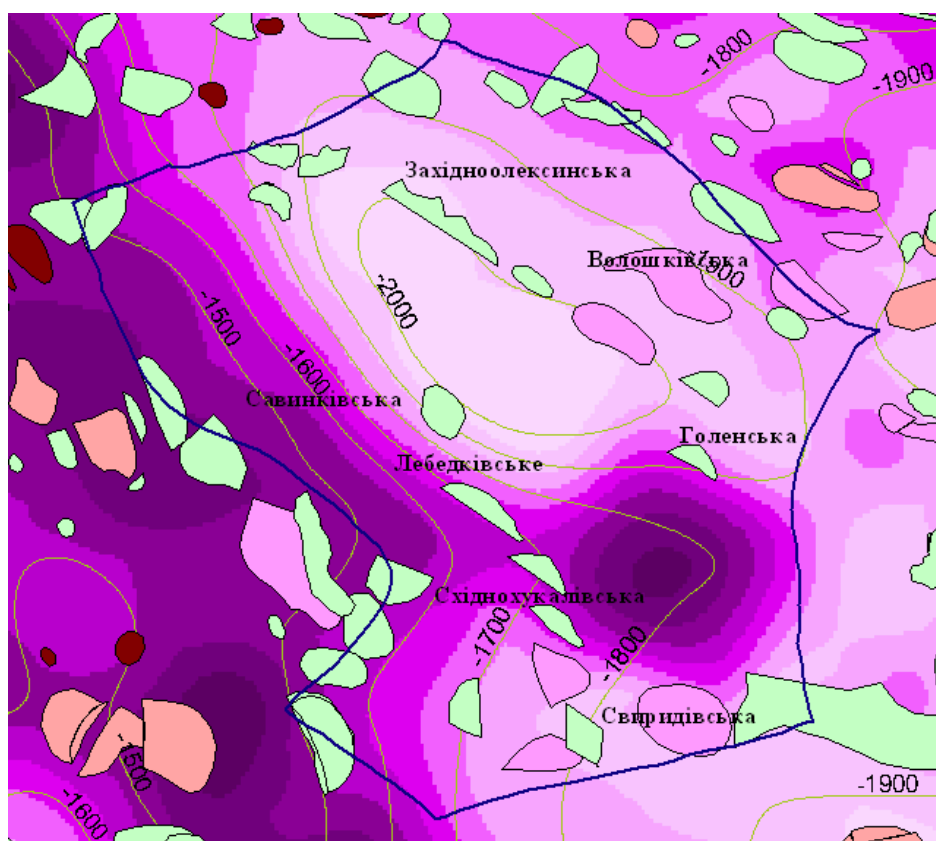


Рис. 4.22. Структурна карта по підшві відкладів нижньотріасового відділу

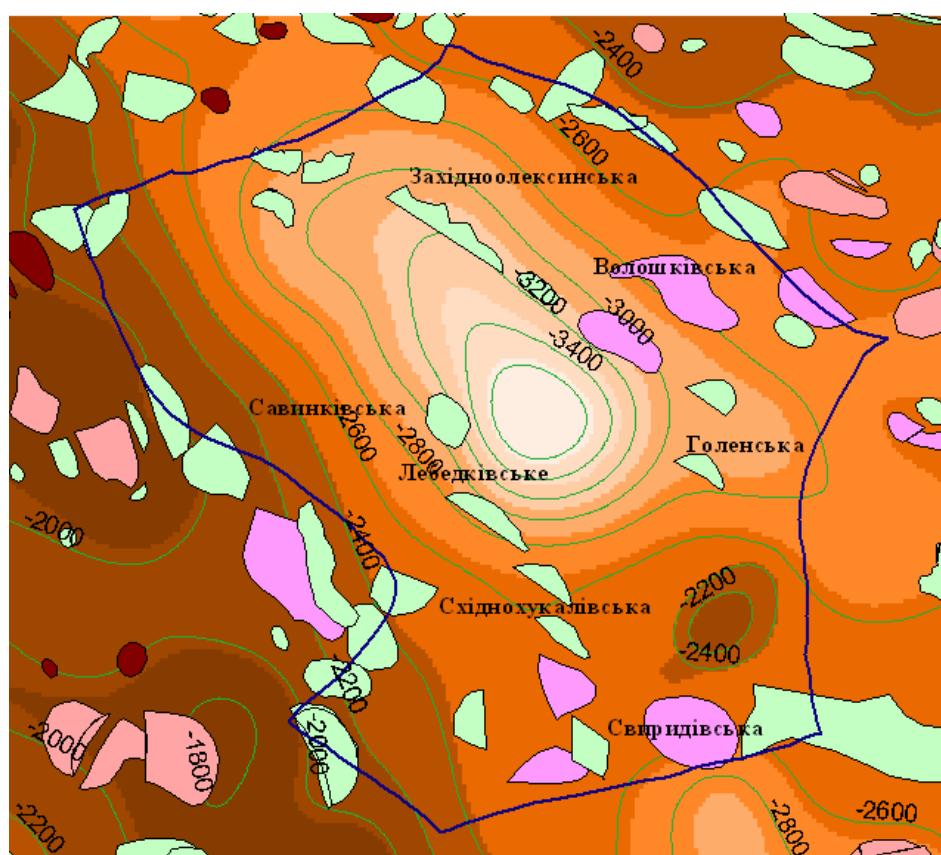


Рис. 4.23. Структурна карта по підшві відкладів нижньопермського відділу

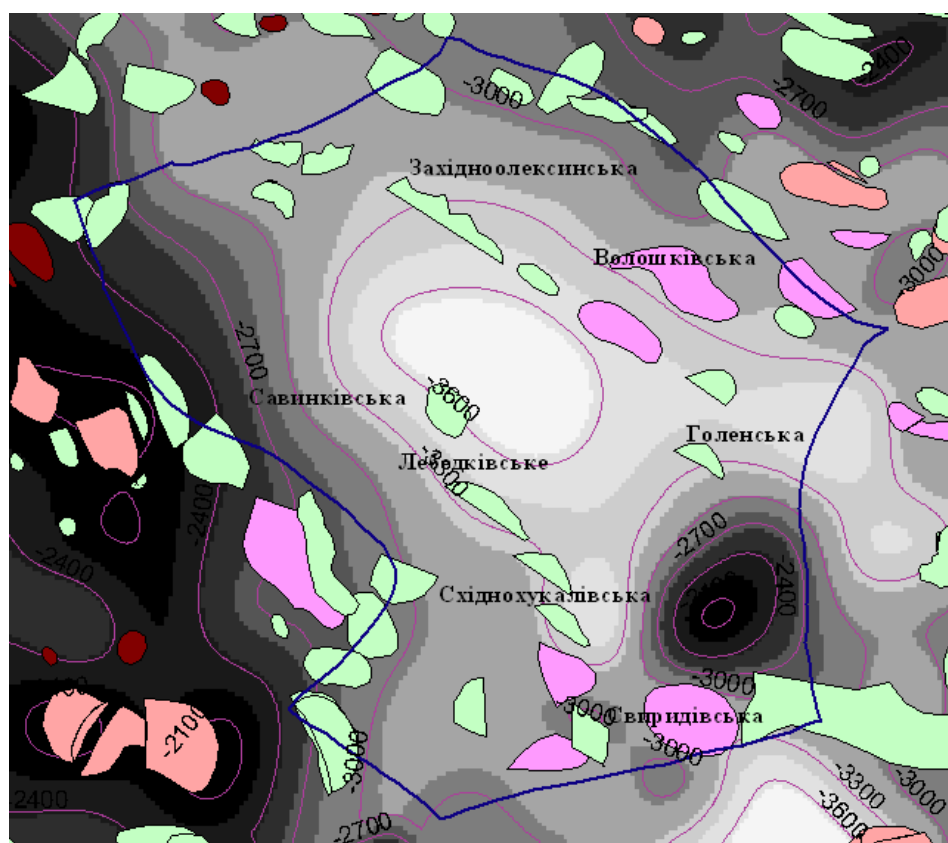


Рис. 4.24. Структурна карта по підосві відкладів верхньокам'яновугільного відділу

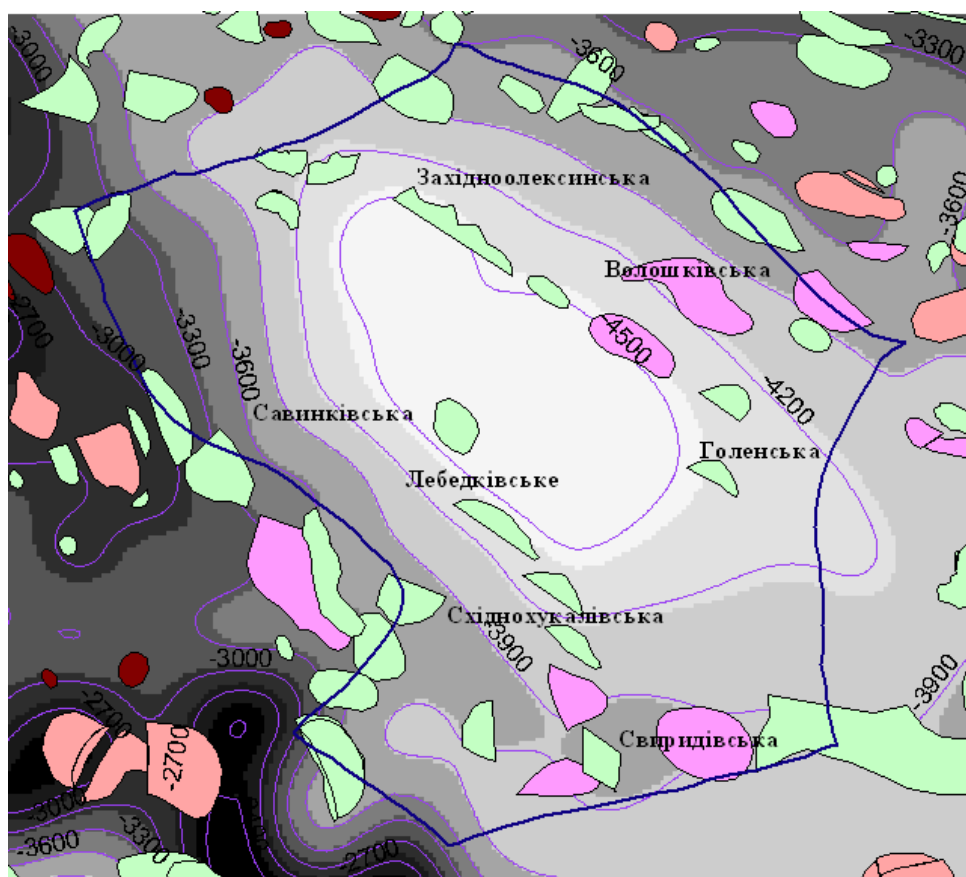


Рис. 4.25. Структурна карта по підосві відкладів середньокам'яновугільного відділу

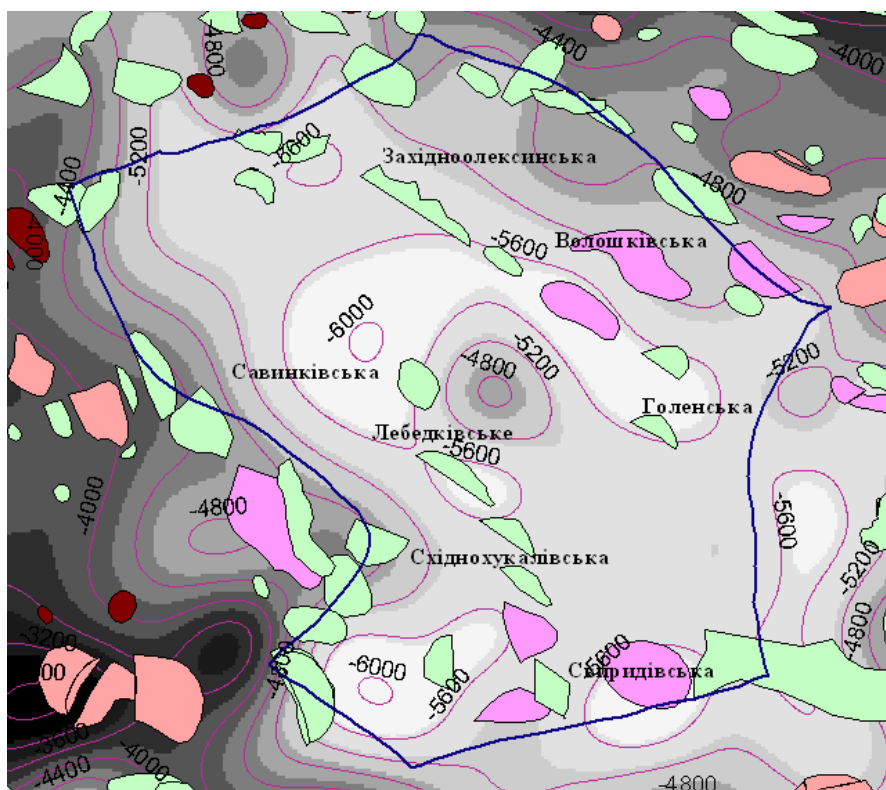


Рис. 4.26. Структурна карта по підшві відкладів нижньокам'яновугільного відділу

Для візуалізації моделі засобами розробленого програмного комплексу побудовані геологічна карта району на зрізі -2000м (рис. 4.27), геологічні розрізи по лініях I – I (рис. 4.28) і II – II (рис. 4.29).

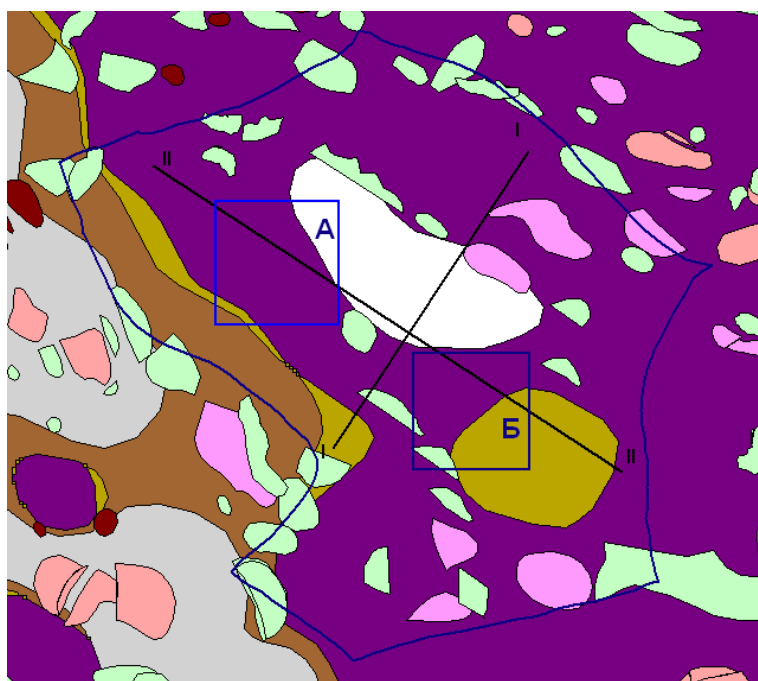


Рис. 4.27. Геологічна карта на зрізі -2000м

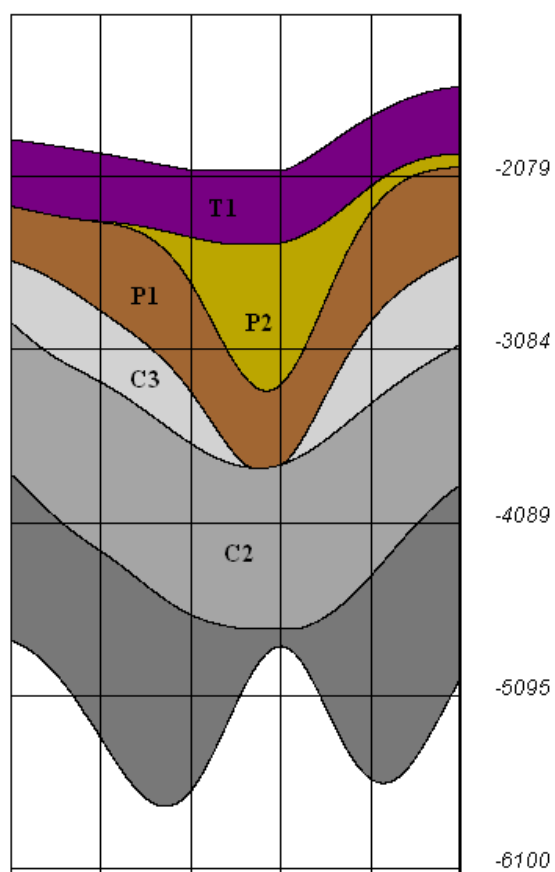


Рис. 4.28. Геологічний розріз по лінії I – I. Лінія розрізу показана на рис. 4.27

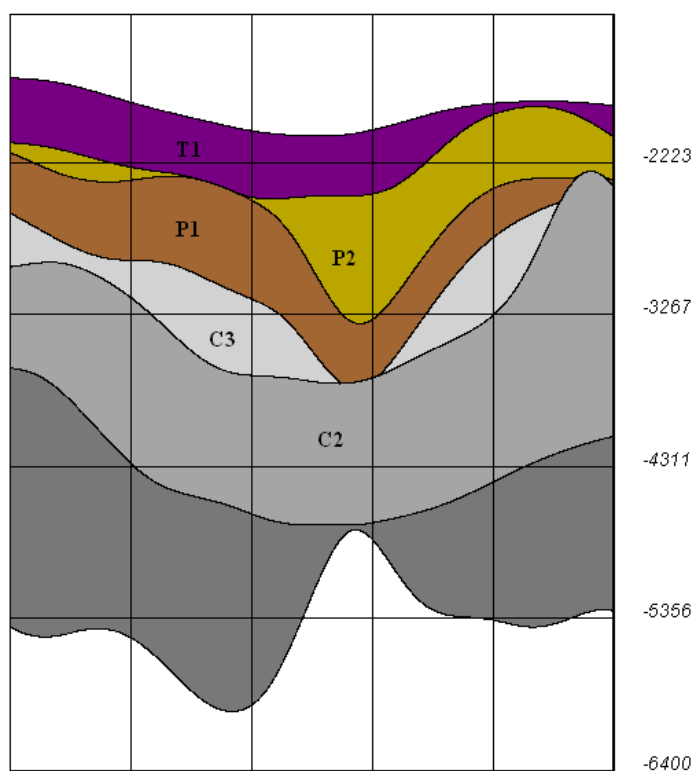


Рис. 4.29. Геологічний розріз по лінії II – II.
Лінія розрізу показана на рис. 4.27

Для виділеного на геологічній карті графікою ArcView квадрата А (рис. 4.27) побудовано аксонометричну проекцію (рис. 4.30) та стратиграфічний куб (рис. 4.31).

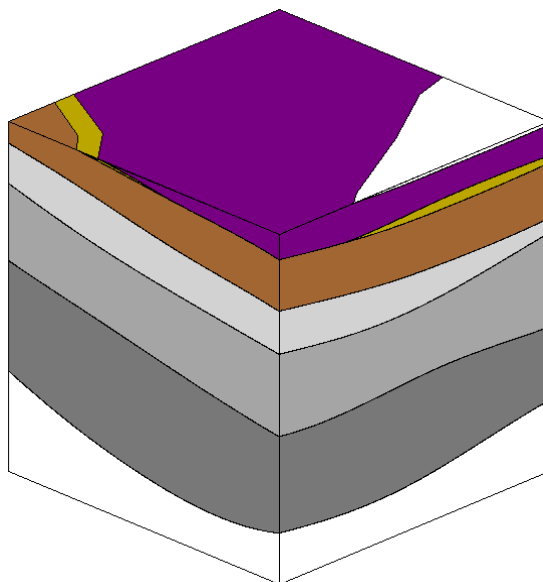


Рис. 4.30. Аксонометрична проекція (ділянка А)

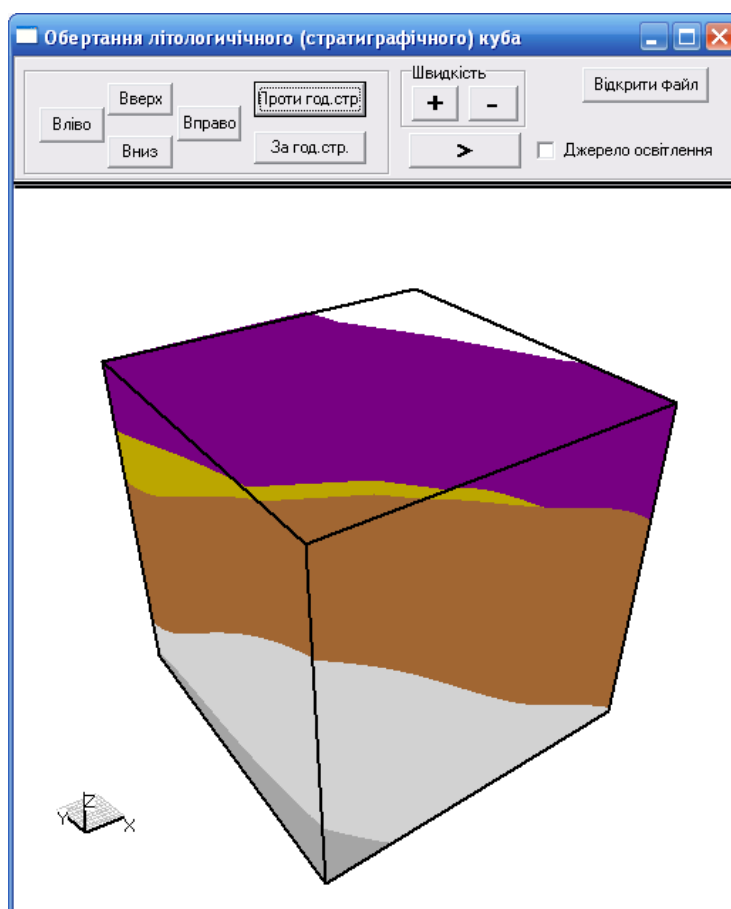


Рис. 4.31. Стратиграфічний куб (ділянка А)

Для виділеного на геологічній карті графікою ArcView квадрата **Б** (рис. 4.27) побудовано аксонометричну проекцію (рис. 4.32) та стратиграфічний куб (рис. 4.33).

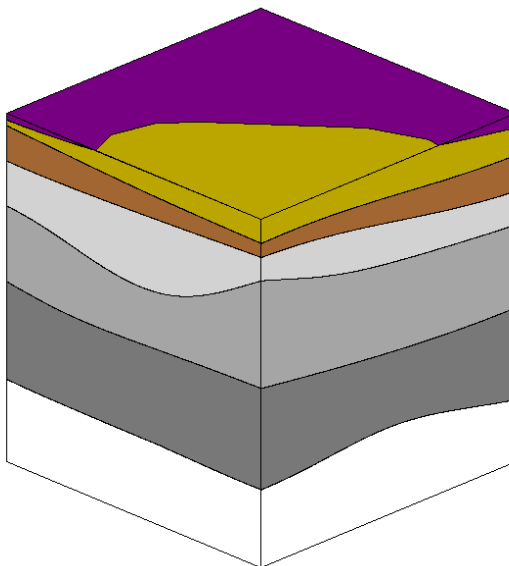


Рис. 4.32. Аксонометрична проекція (ділянка Б)

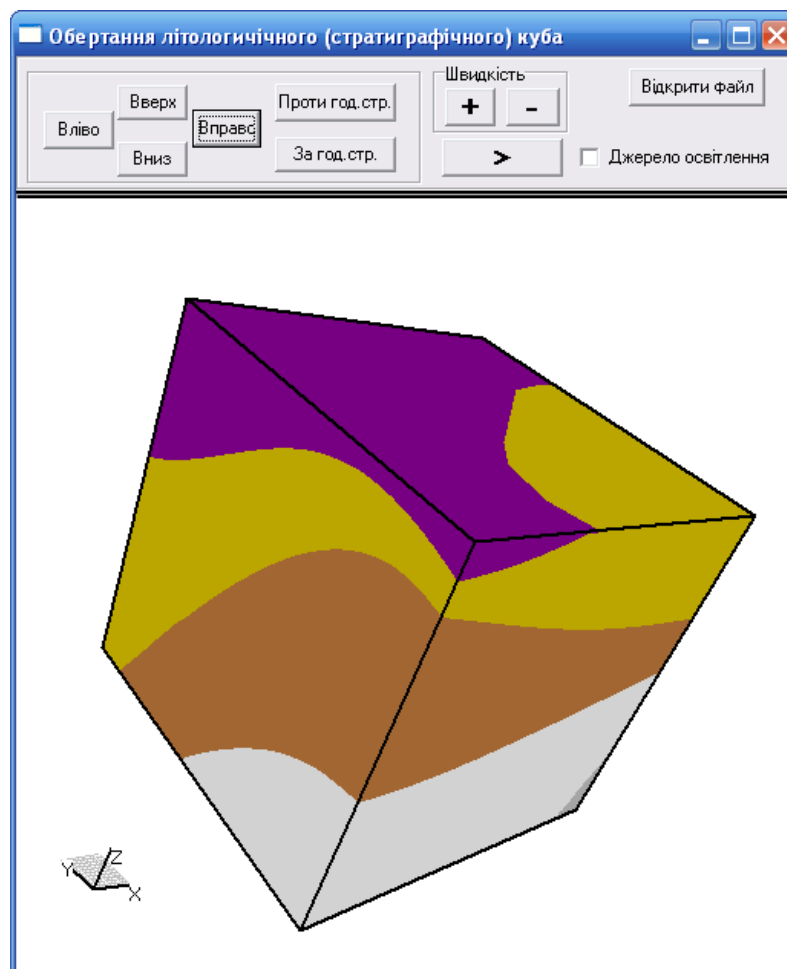


Рис. 4.33. Стратиграфічний куб (ділянка Б)

В межах даного об'єкту відомі тільки нафтогазоконденсатні родовища. Для кластеризації території в просторі чотирьох факторів було проведено ряд експериментів методами кластеризації “по відстані” та “по куту” з метою підбору оптимальних параметрів. Нижче (рис. 4.34, 4.35) наведено результати кластеризації за оптимальними параметрами.

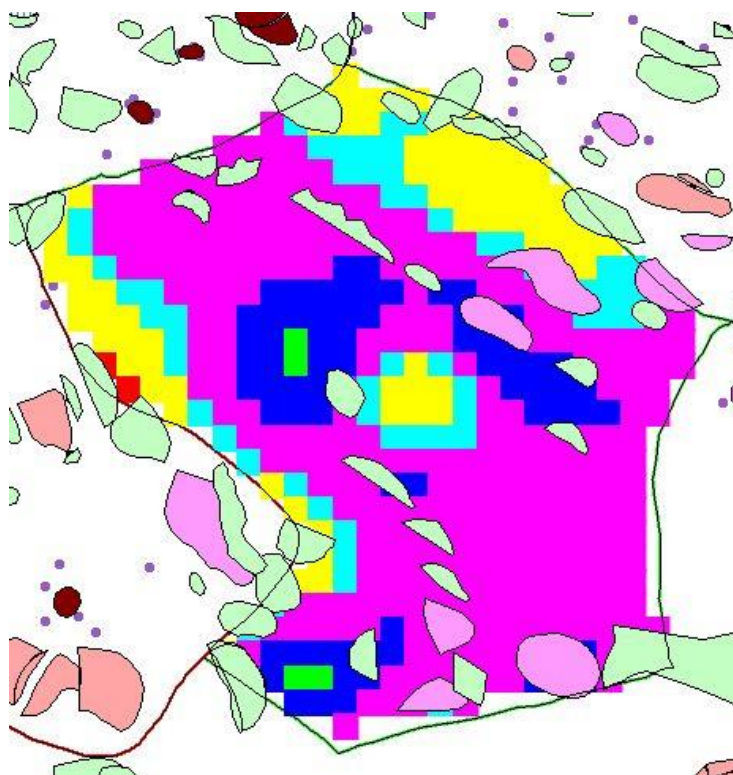


Рис. 4.34. Результати кластеризації “по відстані”. Гранична “відстань” – 200.

Умовні позначення дані на рис. 4.16

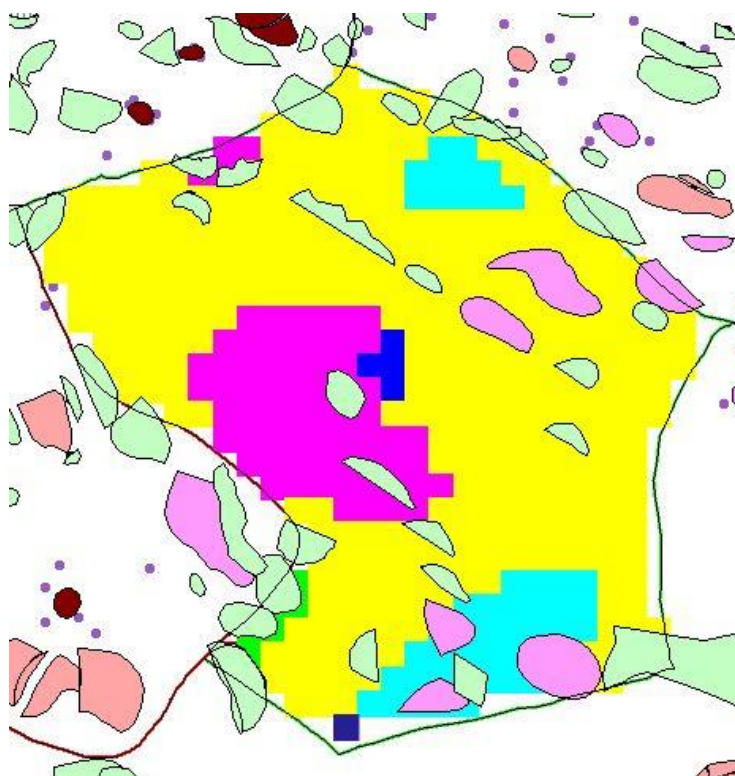


Рис. 4.35. Результати кластеризації “по куту”. Граничний “кут” – 0.3. Умовні позначення дані на 4.16

В результаті кластеризації “по відстані” (рис. 4.34) всі родовища попадають в кластери 2, 4, які лежать на поверхні структурного тренду і характеризуються великими глибинами і максимальними температурами прогріву продуктивних відкладів. Сучасний градієнт температури в межах об’єкту приблизно однаковий. Тобто родовища тяжіють до локальних піднять в найглибших частинах об’єкту.

Результати кластеризації “по куту” (рис. 4.35) демонструють зв’язок родовищ із кластерами 1, 3 з такими ж як і у попередньому випадку характеристиками факторів. Роздільна здатність кластеризації за цим методом гірша у порівнянні з кластеризацією “по відстані”.

Результати класифікації структур на два класи: продуктивні і непродуктивні, демонструються на рис. 4.36, .4.37.

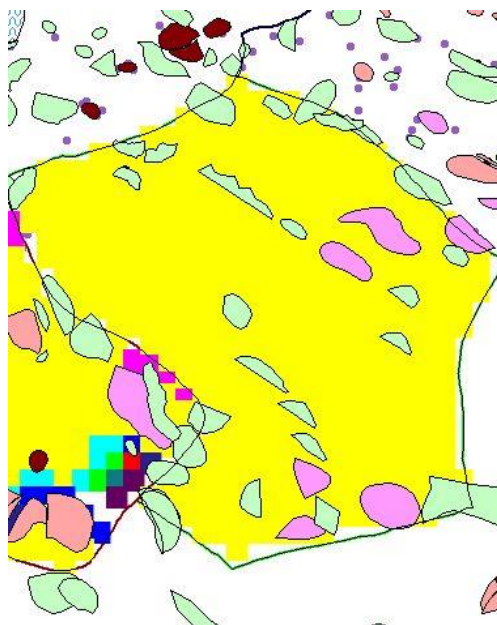


Рис. 4.36. Результати класифікації “по відстані”. Гранична “відстань” – 50.

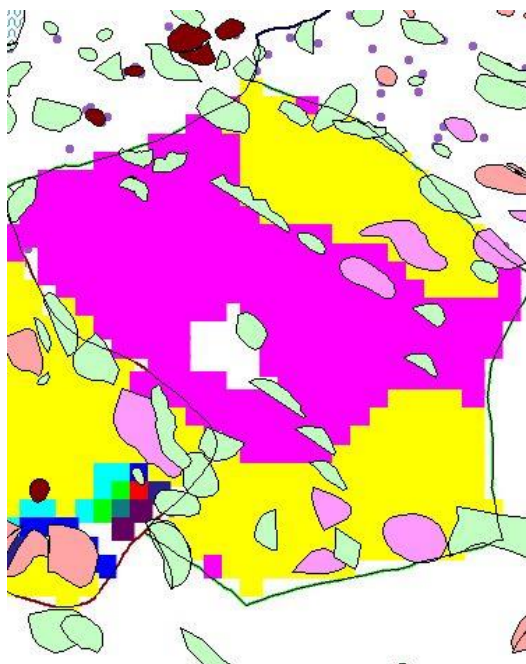


Рис. 4.37. Результати класифікації “по куту”. Граничний “кут” – 2.

Класифікація “по відстані” (рис. 4.36) відносить всю територію об’єкту до одного класу чим демонструє неефективність даного методу в даній зоні ДДз і в даному ознаковому просторі.

Класифікація “по куту” (рис. 4.37) задовільно розділяє структури на продуктивні і непродуктивні. Попадання продуктивних структур в “непродуктивні” зони і навпаки свідчить про недостатність ознакового простору для всебічної характеристики об’єктів.

4.3. Лесяківсько-Гнідинцівська група структур

Лесяківсько-Гнідинцівська група структур знаходиться в південній прибортовій зоні Центрального грабену ДДз (рис. 4.38).

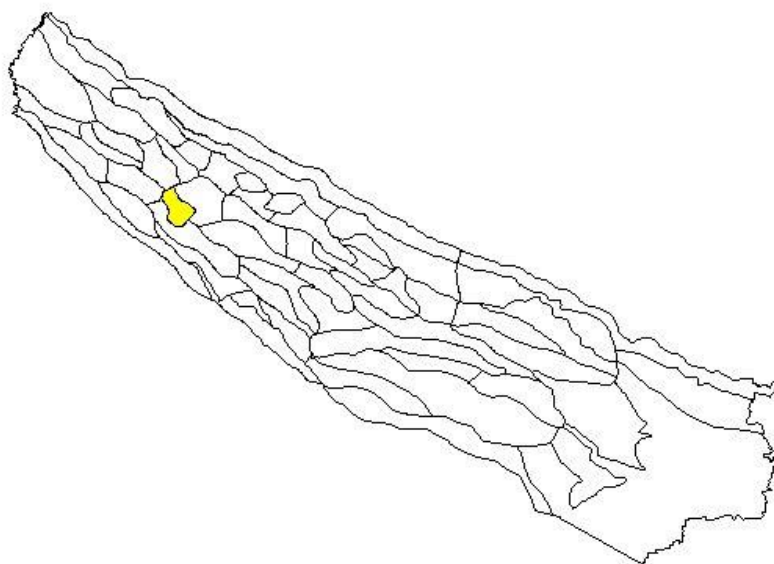


Рис. 4.38. Об'єкт дослідження (Лесяківсько-Гнідинцівська група структур) в структурі ДДз.

В межах даного району (рис. 4.39) буровими та сейсмозвідувальними роботами відкрито 6 газоконденсатних родовищ.

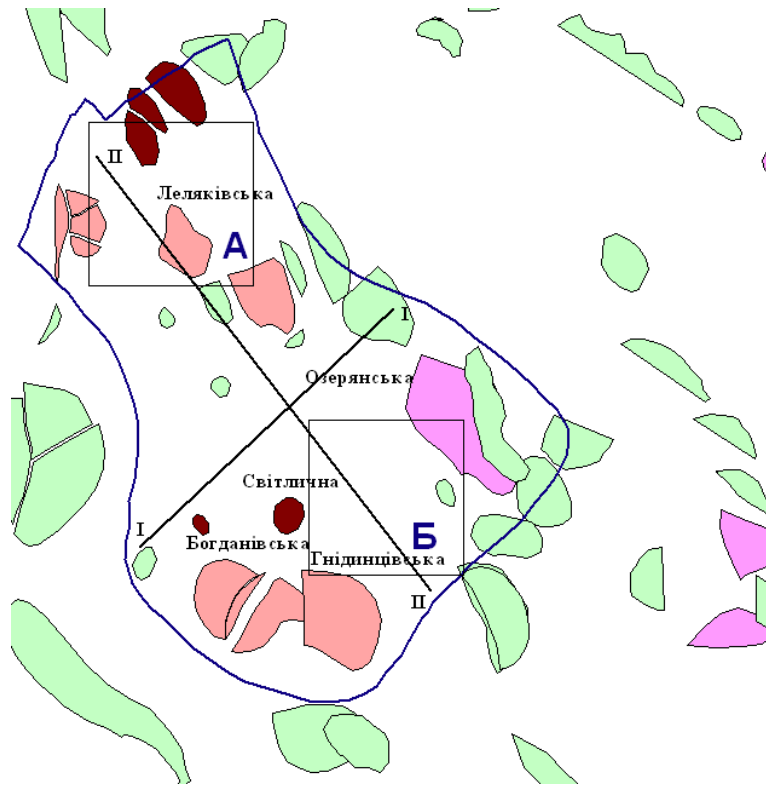


Рис. 4.39. Розподіл відкритих родовищ і непродуктивних структур (показані зеленим кольором) в межах об'єкту дослідження та ступінь вивченості його бурінням.

На першому етапі незалежно одна від одної з використанням техніки автоаналога були побудовані структурні поверхні підосви C_1 , підосви C_2 , підосви C_3 , підосви P_1 , підосви T_1 , підосви T_2 . Далі виконувалось логічне погоджування (нормалізація) границь, суть якої полягала в автоматичному на основі алгебри поверхонь визначенні границь поширення та товщин відкладів кожного відділу. В основі нормалізації лежить логічний висновок, який полягає в тому, що більш молода границя не може бути нижчою за більш древню границю. Моделі нормалізованих границь показано на рисунках 4.40-4.45.

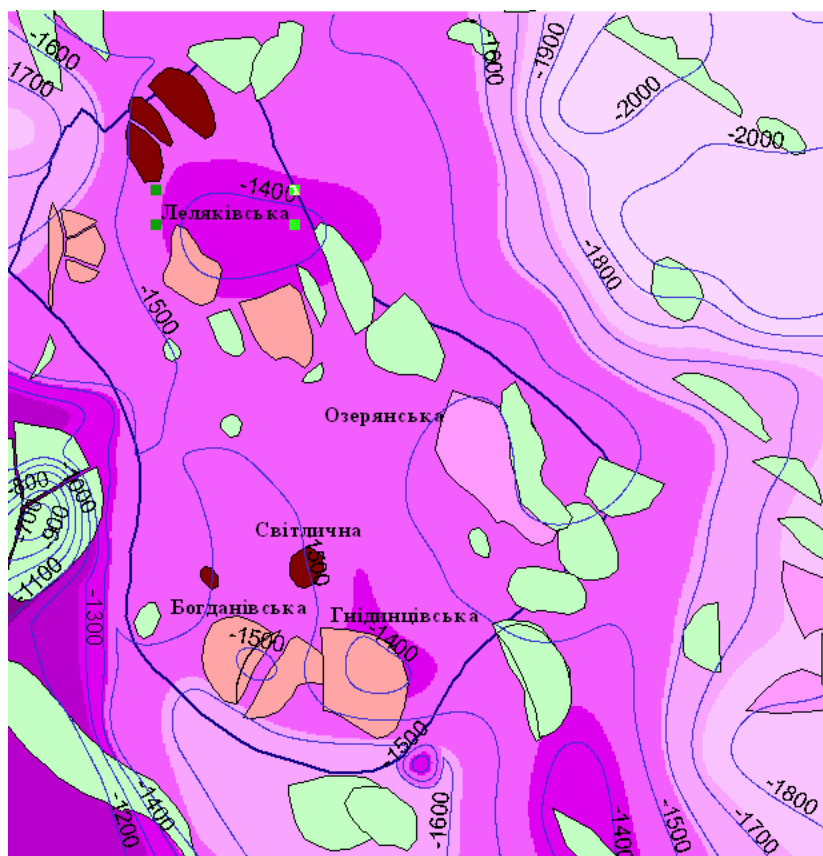


Рис. 4.40. Структурна карта по підосві відкладів середньотріасового відділу

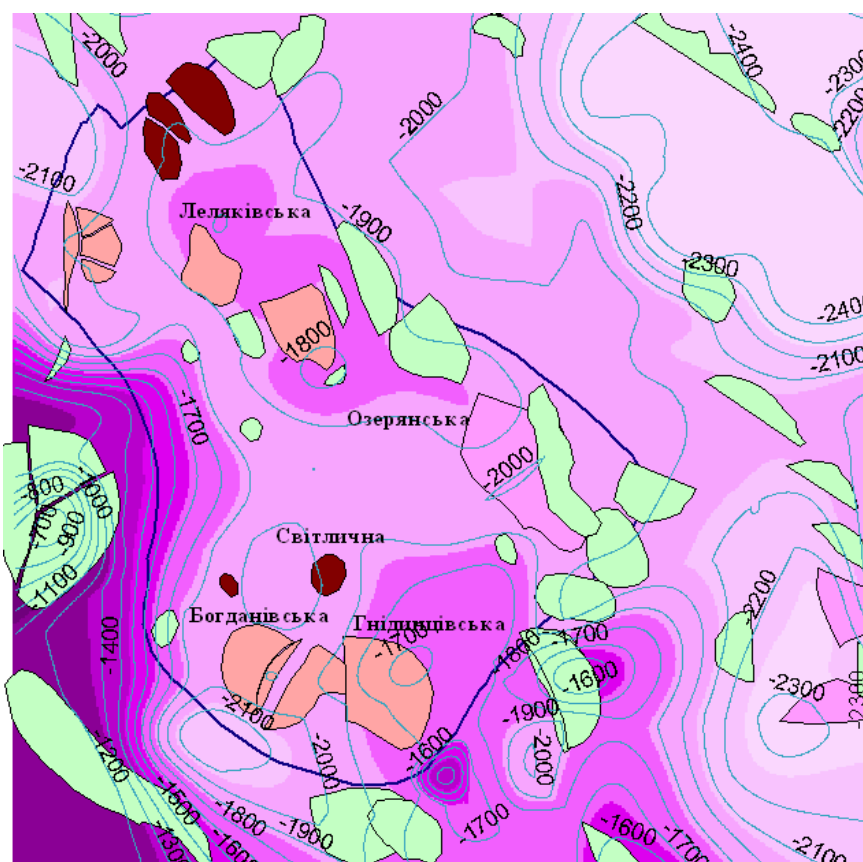


Рис. 4.41. Структурна карта по підосві відкладів нижньотріасового відділу

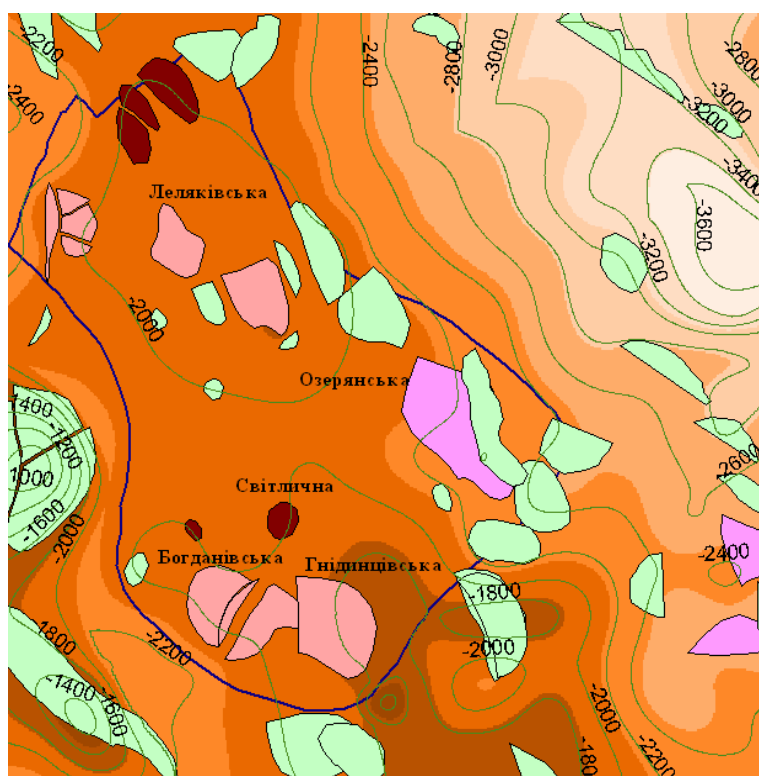


Рис. 4.42. Структурна карта по підосві відкладів нижньопермського відділу

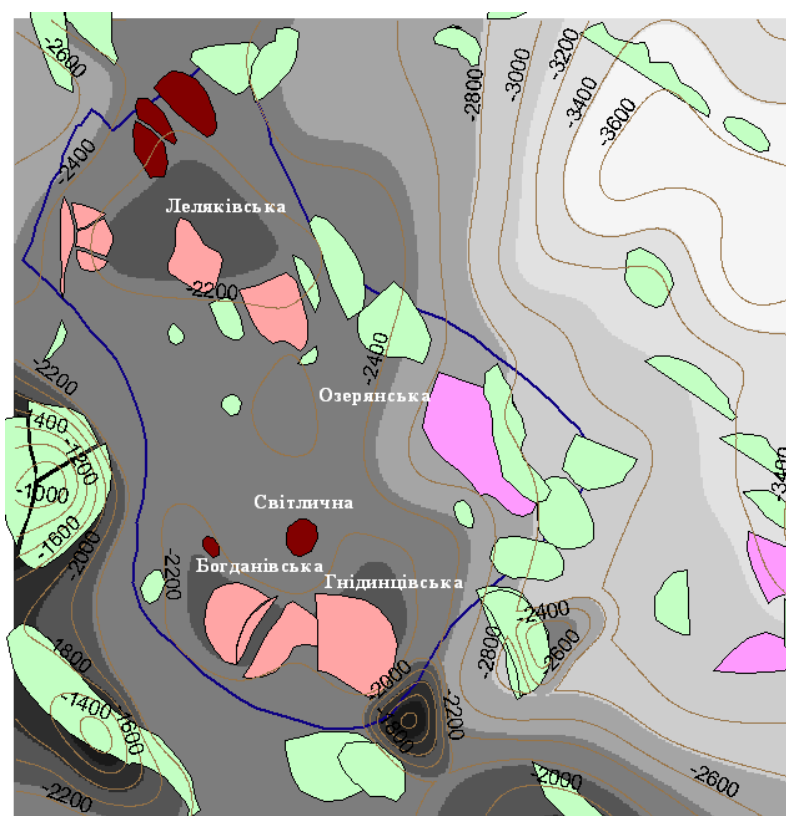


Рис. 4.43. Структурна карта по підосві відкладів верхньокам'яновугільного відділу

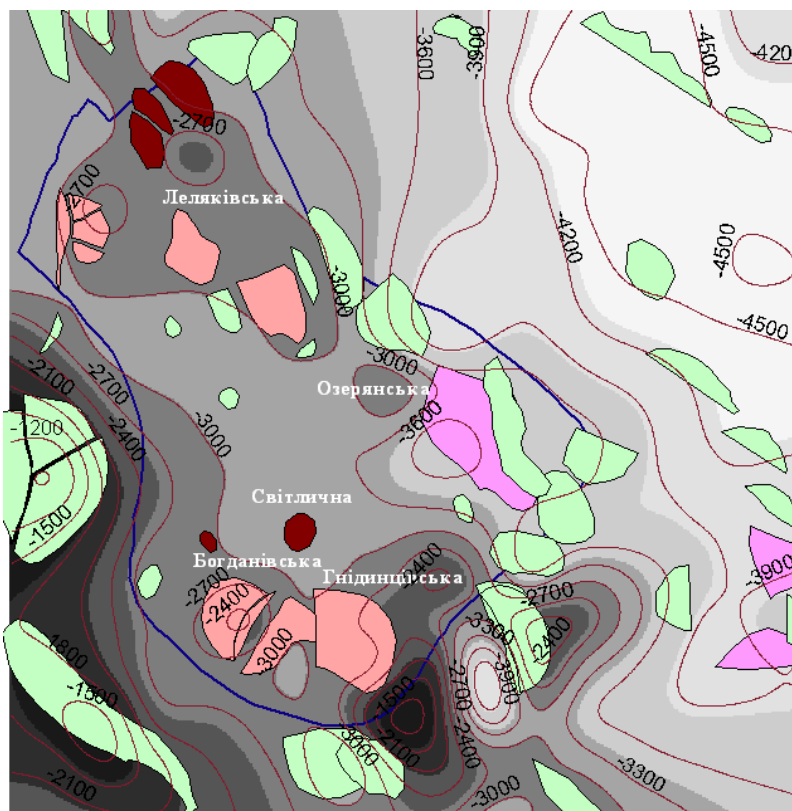


Рис. 4.44. Структурна карта по підосві відкладів середньокам'яновугільного відділу

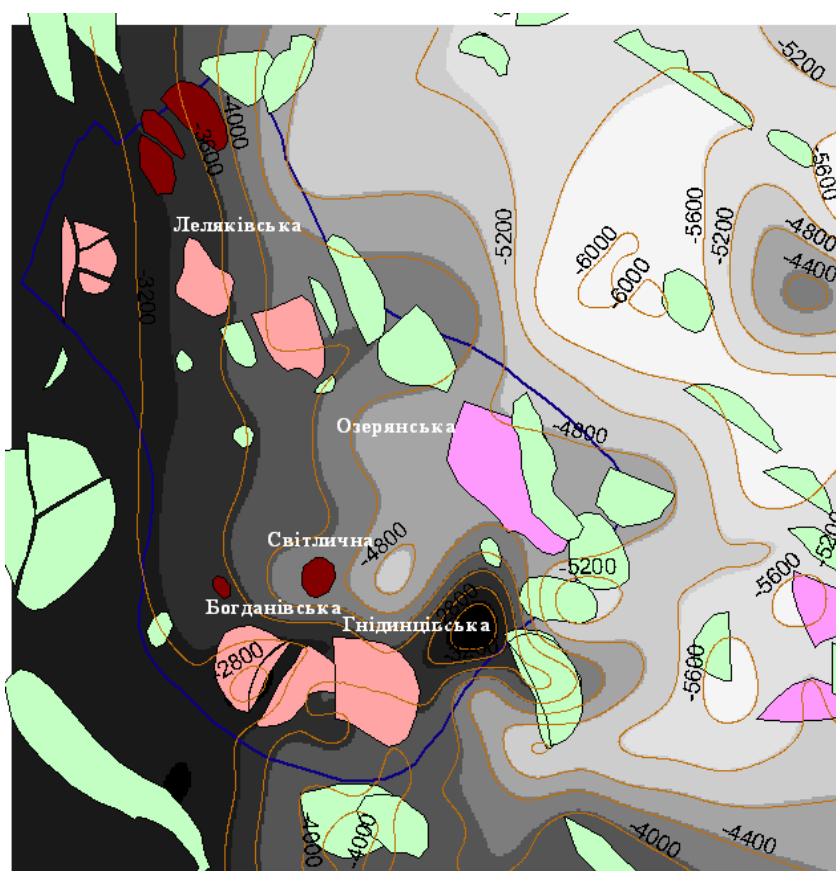


Рис. 4.45. Структурна карта по підосві відкладів нижньокам'яновугільного відділу (С1)

Для візуалізації моделі засобами розробленого програмного комплексу побудовані геологічна карта району на зрізі -2100м (рис. 4.46), геологічні розрізи по лініях **I – I** (рис. 4.47) і **II – II** (рис. 4.48).

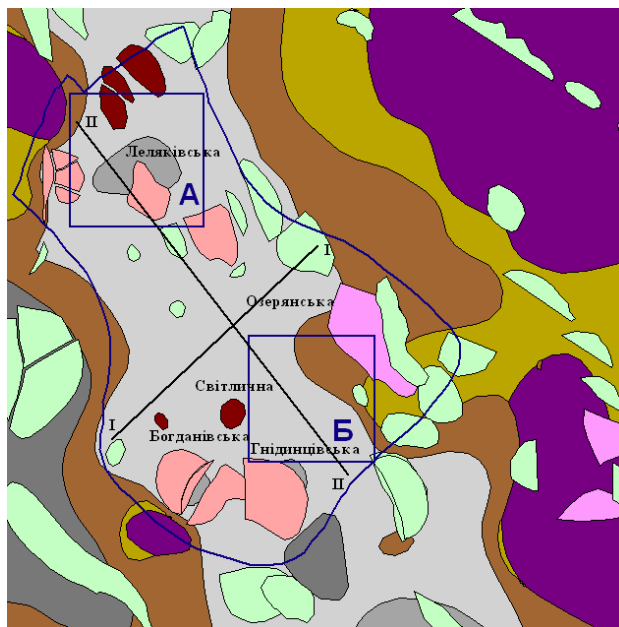


Рис. 4.46. Геологічна карта на зрізі -2100м

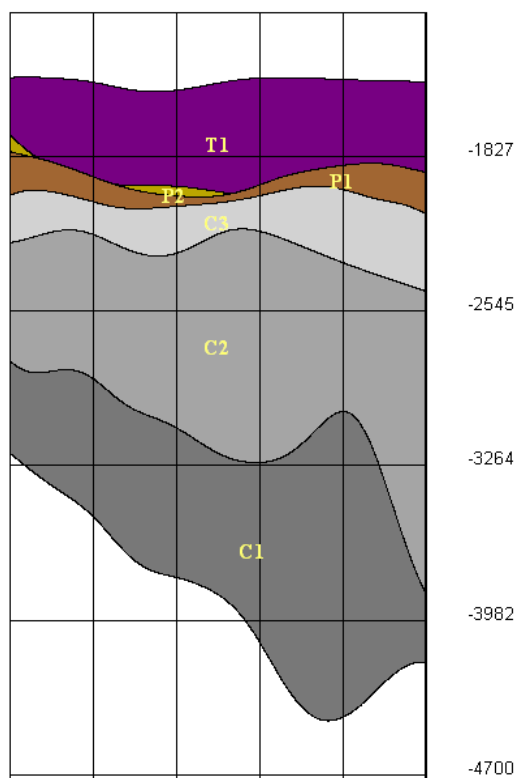


Рис. 4.47. Геологічний розріз по лінії **I – I**. Лінія розрізу показана на рис. 4.46

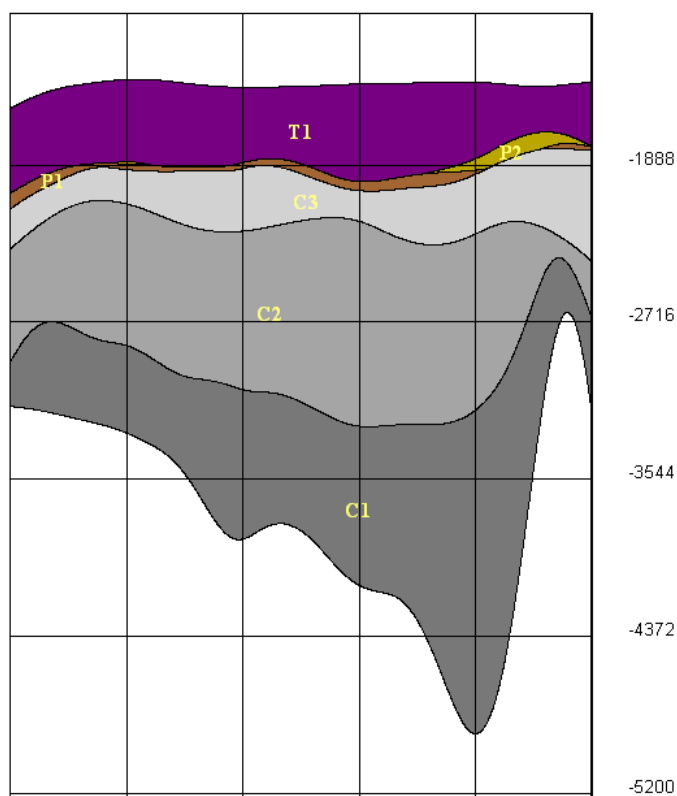


Рис. 4.48. Геологічний розріз по лінії II – II.

Лінія розрізу показана на рис. 4.46

Для виділеного на геологічній карті графікою ArcView квадрата А (рис. 4.46) побудовано аксонометричну проекцію (рис. 4.49) та стратиграфічний куб (рис. 4.50).

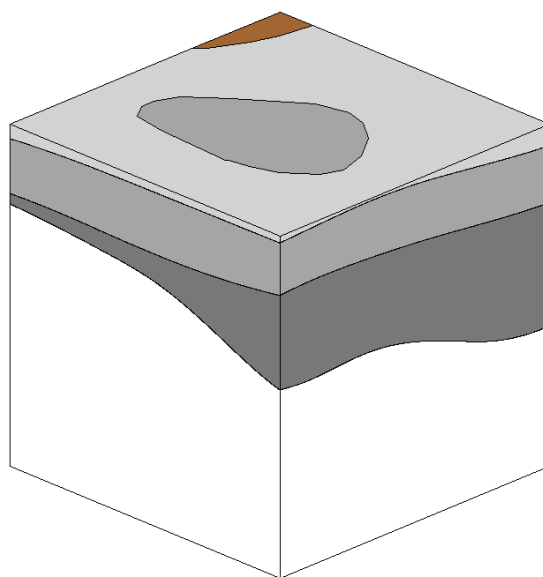


Рис. 4.49. Аксонометрична проекція (ділянка А)

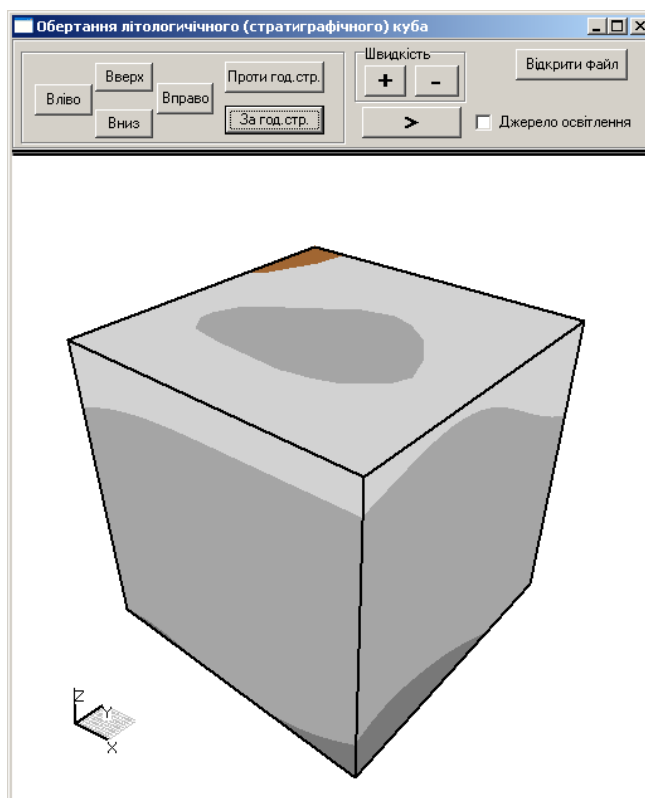


Рис. 4.50. Стратиграфічний куб (ділянка А)

Для виділеного на геологічній карті графікою ArcView квадрата **Б** (рис. 4.46) побудовано аксонометричну проекцію (рис. 4.51) та стратиграфічний куб (рис. 4.52).

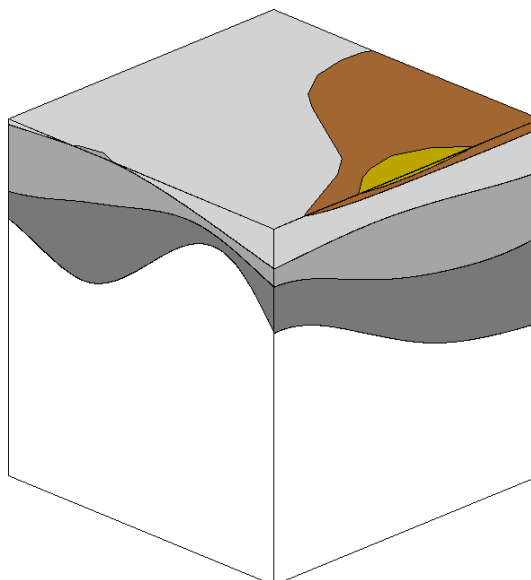


Рис. 4.51. Аксонометрична проекція (ділянка Б)

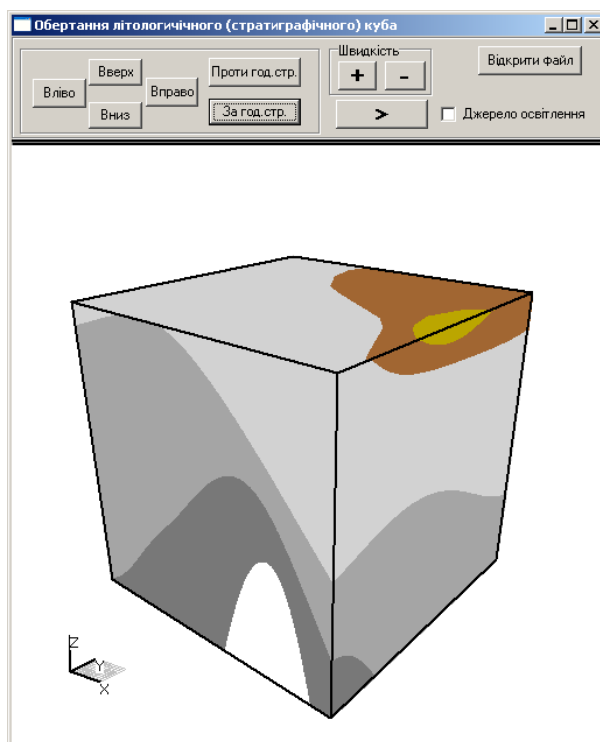


Рис. 4.52. Стратиграфічний куб (ділянка Б)

В межах даного об'єкту відомі тільки нафтові, газоконденсатні та нафтогазоконденсатні родовища. Для кластеризації території в просторі чотирьох факторів було проведено ряд експериментів методами кластеризації “по відстані” та “по куту” з метою підбору оптимальних параметрів. Нижче (рис. 4.53, 4.54) наведено результати кластеризації за оптимальними параметрами.

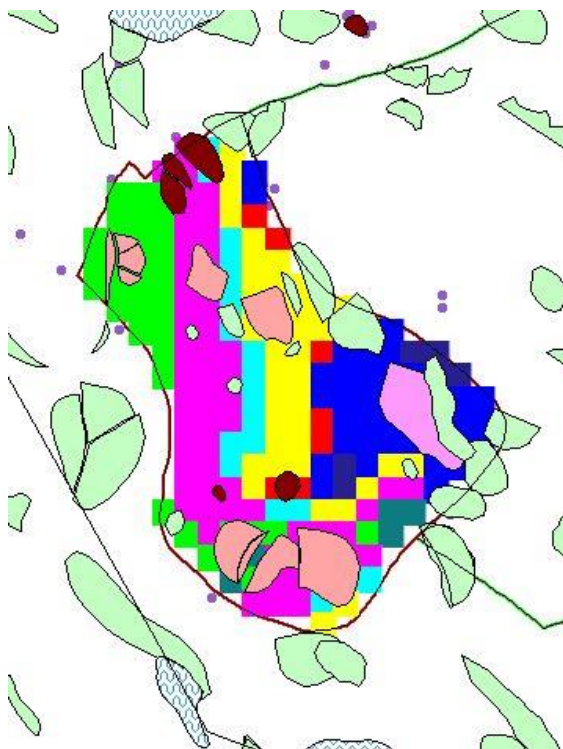


Рис. 4.53. Результати кластеризації “по відстані”. Гранична “відстань” – 200.

Умовні позначення дані на рис. 4.16

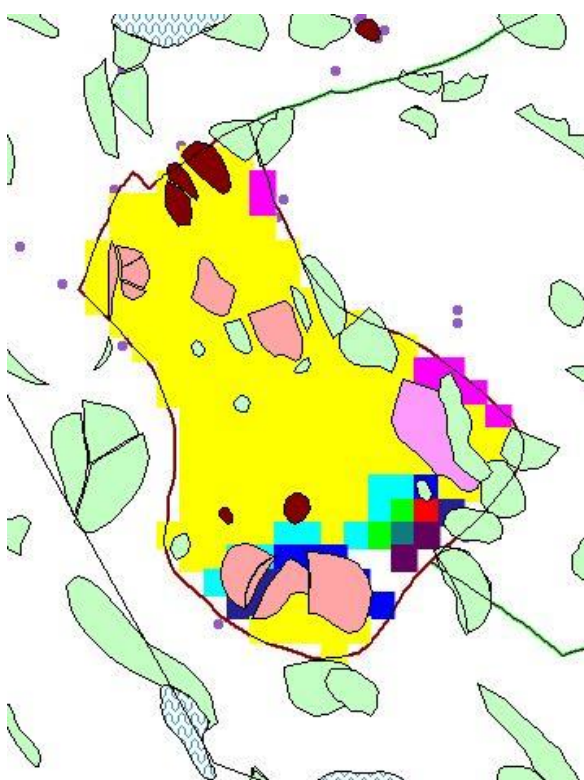


Рис. 4.54. Результати кластеризації “по куту”. Граничний “кут” – 0.5. Умовні позначення дані на рис. 4.16

В результаті кластеризації “по відстані” (рис. 4.53) газоконденсатне родовище попадає в кластер 4, який характеризуються великими глибинами і максимальними температурами прогріву продуктивних відкладів, тобто найбільш жорсткими умовами генерації вуглеводнів. Нафтові і нафтогазоконденсатні родовища попадають в зони з менш жорсткими термодинамічними умовами. Родовища і непродуктивні структури метод не розділяє, говорить скоріше за все на велику диференціацію умов збереження покладів в пастці в межах даного об’єкту, який знаходиться в південній прибортовій зоні ДДз.

Результати кластеризації “по куту” (рис. 4.54) демонструють погану роздільну здатність в просторі даних факторів в межах об’єкту, що свідчить про необхідність пошуку іншого факторного простору для Південної прибортової зони ДДз.

Результати класифікації структур на два класи: продуктивні і непродуктивні, демонструються на рис. 4.55, 4.56.

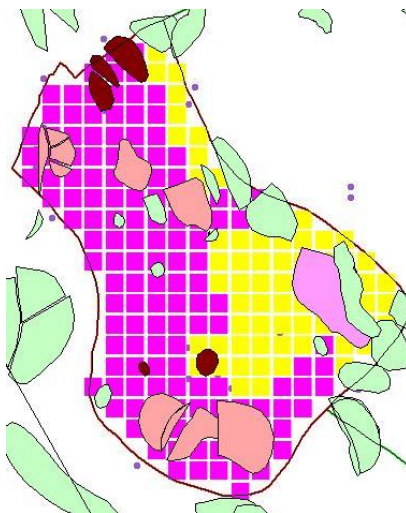


Рис. 4.55. Результати класифікації “по відстані”. Гранична “відстань” – 100.

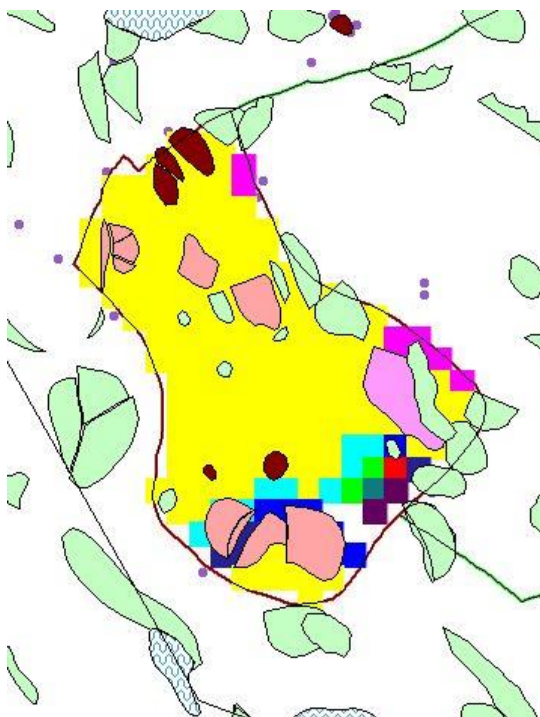


Рис. 4.56. Результати класифікації “по куту”. Граничний “кут” – 2.

Класифікація “по відстані” (рис. 4.55) задовільно розділяє структури на продуктивні і непродуктивні. Попадання продуктивних структур в “непродуктивні” зони і навпаки свідчить про недостатність ознакового простору для всебічної характеристики об’єктів.

Класифікація “по куту” (рис. 4.56) демонструє неефективність даного методу в даній зоні ДДз і в даному ознаковому просторі.

Таким чином, апробація розроблених алгоритмів на реальній геологічній інформації доводить можливість та доцільність їх використання для побудови моделей регіональних геологічних об’єктів.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено нове вирішення наукової задачі створення та реалізації алгоритмічних та структурних основ побудови інструментальних програмних засобів щодо розробки та кількісного аналізу моделей регіональних геологічних об'єктів в галузі геології в умовах недостатньої кількості вхідних даних та нерівномірної їх щільності. У роботі розвинуто ідеї доповнення вихідних даних штучними на основі процедур побудови моделей. Властивості штучних даних відповідають реальним геологічним об'єктам та компенсують нерівномірності розподілу і усувають недостатність вихідної інформації при моделюванні. Запропоновані методики та інструментальні засоби їх реалізації включені до спеціального програмного забезпечення яке здатне створювати адекватні моделі та забезпечувати якісне оцінювання перспективності практичного використання геологічних об'єктів.

Результатами роботи є наступне.

1. Встановлено, що існуючі ГІС системи та програмне забезпечення в галузі нафтогазової геології не мають чітко сформованих вимог функціонального наповнення таких систем. Автором запропоновано оптимальний набір функціональних вимог до систем такого класу а саме:

- наявність методик та засобів реалізації створення моделей регіональних об'єктів які за звичай не мають достатньої кількості якісної інформації для їх побудови;
- наявність методик та засобів виконання процедур просторового аналізу включаючи просторові кластеризацію та класифікацію об'єктів за комплексом ознак;
- наявність візуальних інструментів користувача для побудови та проведення досліджень 2D та 3D цифрових моделей об'єктів нафтогазової галузі з простим та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом.

2. Запропоновані вимоги дозволили сформувати мінімальний функціональний набір програмних засобів роботи з цифровими моделями геологічних об'єктів при виконанні типових процедур їх дослідження та визначити структурний склад програмних компонентів (підсистем):

- підсистема 2D моделювання;
- підсистема просторового аналізу моделей;
- підсистема візуалізації 2D і 3D моделей геологічних об'єктів.

3. Розроблено методику створення цифрових моделей регіональних об'єктів на основі згущення каркаса опорних точок її побудови, що дозволяє вирішувати задачу моделювання в умовах недостатньої інформації.

4. В результаті аналізу засобів просторового аналізу регіональних геологічних об'єктів запропоновано низка методик їх вдосконалення на основі парної просторової кореляції та регресії параметрів 2D моделей. При цьому, регресійні залежності використовуються в областях високої кореляції. При виконанні цих процедур робиться автоматизований розрахунок об'ємів виділених в геологічному тілі об'єктів та розрахунок екстремальних і середніх значень їх параметрів

5. Розвинуто ідеї використання методів просторової кластеризації для процедур виділення в геологічному тілі об'єктів, однорідних в полі визначених геолого-геофізичних параметрів.

6. Удосконалено методику пошуку в геологічному тілі об'єктів із заданими властивостями на базі просторової класифікації.

7. Запропоновано набір інструментальних засобів візуального дослідження моделі регіонального об'єкта який значно покращив можливості отримання даних для надання рекомендацій щодо напрямків подальших геологічних досліджень сформованих об'єктів.

8. В результаті використання запропонованих методик з'явилась можливість розроблення додаткових засобів візуалізації цифрових просторових моделей у вигляді зрізів, розрізів, аксонометричних проекцій,

кубів властивостей, які дозволяють отримати більш наглядне обґрунтування для організації подальших геологічних робіт.

9. На базі запропонованих методик та програмних засобів їх реалізації побудована цілісна спеціалізована система для дослідження властивостей регіональних геологічних об'єктів, яка успішно пройшла апробацію на геологічних об'єктах головного нафтогазоносного району України – Дніпровсько-Донецької западини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бериков В. С., Лбов Г. С. Современные тенденции в кластерном анализе // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. — 26 с.
2. Гагарін О.О. Системи побудови та проведення аналізу 3D – моделей регіональних об'єктів / Гагарін О.О., Долинський І.П. // Інформаційне і програмне забезпечення системи моніторингу стану довкілля у зоні впливу атомних електростанцій; за загальною редакцією С. О. Лук'яненка. – К.: Видавничо-поліграфічне підприємство "ТЕКСТ", 2015. – С. 72-79.
3. Гагарін О.О. Методика побудови 3D – моделей геологічних розрізів за даними 2D – моделей / Гагарін О.О., Долинський І.П. // Інформаційне і програмне забезпечення системи моніторингу стану довкілля у зоні впливу атомних електростанцій; за загальною редакцією С. О. Лук'яненка. – К.: Видавничо-поліграфічне підприємство "ТЕКСТ", 2015. – С. 42-47.
4. Геоинформационные системы URL: <http://www.oka-rusachok.narod.ru/history.html>
5. ГИС Ассоциация, URL: <http://www.gisa.ru>
6. Гребенніков С. Є. Геолого–математичне моделювання і географічні інформаційні системи в задачі моніторингу седиментаційних басейнів / С. Є. Гребенніков, О. П. Лобасов // Вісник Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2001. – Вип. 19. – С. 28–31.
7. Гребенніков С. Є. Моделювання будови осадових басейнів в середовищі ArcView. / С. Є. Гребенніков, О. П. Лобасов // Мінеральні ресурси України. – 2003. – №4. – С. 37-43.
8. Демерс М.Н. Географические информационные системы. Основы. М., 2006. – 246 с.

9. Долинский Игорь Петрович. Применение алгоритмов пространственной классификации и кластеризации в задаче прогноза нефтегазоносности / И. П. Долинский, А. П. Лобасов // Геоинформатика. – М.: ФГУП ГНЦ РФ "ВНИИгеосистем", 2014. - № 1. – С. 64-70.
10. Долинський І. П. Геоінформаційний експертно-моделюючий комплекс дослідження регіональних моделей в геології / Долинський І. П. // Вісник Київського національного університету. Геологія. – 2017 р. – Вип. 4(79). – С. 86-91.
11. Долинський І. П. Методи побудови та дослідження характеристик геологічних об'єктів за відсутності апріорної інформації / І. П. Долинський // Комп'ютерні технології: наука і освіта : тези доп. : X Всеукр. наук.- практ. конф. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". – К., 2017. – С. 23-24.
12. Долинський Ігор Петрович. Лінійна інтерполяція на триангульованій області як метод побудови 2D моделей параметрів за відсутності апріорної інформації / І.П. Долинський, О.П. Лобасов, В.М. Огарков // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: збірник наукових праць. – 2015. – Вип. 12. – С. 95-102.
13. Долинський Ігор Петрович. Метод побудови та візуалізація стратиграфічного куба / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Вісник Університету "Україна". Серія "Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика" / Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". — К.: Ун-т "Україна", 2015. – Вип. 1(17). – С 147-152.
14. Долинський Ігор Петрович. Методи та програмно-алгоритмічні засоби побудови моделей параметрів за відсутності апріорної інформації / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Комп'ютерні технології: наука і освіта : тези доп. : IX Всеукр. наук.- практ. конф. / М-во освіти і науки,

- молоді та спорту України, Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". – К., 2015. – С. 23-25.
15. Долинський Ігор Петрович. Апробація комплексу програм 3d регіонального моделювання на прикладі геологічних об'єктів Дніпровсько-Донецької западини / Долинський І. П. // Геоінформатика. - К.: НАНУ, ін-т геологічних наук, 2014. - № 4. - С. 37-47.
 16. Долинський Ігор Петрович. Геоінформаційний експертно-моделюючий комплекс оцінки регіональних моделей в геології / Долинський І. П., Гагарін О. О. Лобасов О. П. [Електронний ресурс] // Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти: XVI Міжнар. конф., 15-17 трав. 2017 р.: тези.
 17. Долинський Ігор Петрович. Геоінформаційні системи в нафтогазовій геології. Досвід та перспективи використання / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Мінеральні ресурси України. - К.: УкрДГРІ, 2012. - №1. - С. 33-34.
 18. Долинський, Ігор Петрович. Засоби 3D візуалізації регіональних структурно-літологічних моделей нафтогазової геології. / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Мінеральні ресурси України. - К.: УкрДГРІ, 2012. - №2. С. 20-22.
 19. Долинський, Ігор Петрович. Засоби візуалізації регіональних цифрових геологічних моделей в ГІС-середовищі. / Долинський І. П., Лобасов О. П. [Електронний ресурс] // Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти: IX Міжнар. конф., 11-14 трав. 2010 р.: тези.
 20. Долинський Ігор Петрович. Застосування засобів 3D візуалізація на прикладі регіональної структурної моделі мезозойських відкладів однієї з ділянок Дніпровсько-Донецької западини. / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Комп'ютерні технології: наука і освіта : тези доп. : VIII Всеукр. наук.- практ. конф. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". – К., 2013. – С. 27-32.

21. Долинський Ігор Петрович. Математичне і технологічне забезпечення 3D геологічного моделювання в ГІС середовищі. / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Геоінформатика. - К.: НАНУ, ін-т геологічних наук, 2013. - № 1. - С. 49-53.
22. Долинський, І., Гагарін, О., & Лобасов, О. (2020). Розробка засобів візуалізації цифрових моделей геологічних об'єктів в середовищі геоінформаційної системи arcview 3.п. Проблеми та перспективи нафтогазової промисловості, 1(4), 40-55.
<https://doi.org/10.32822/naftogazscience.2020.04.040>
23. Закревский К.Е Геологическое 3D моделирование. - М., 2009. - 376с.
24. Іщук О. О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС : [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / О. О. Іщук, М. М. Коржнев, О. Є. Кошляков; Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. — К.: Київ. ун-т, 2003. — 196, [3] с.
25. Котов А., Красильников Н. Кластеризация данных. 2006.
26. Курс Petrel по моделированию свойств v. 2004 (вып. 1) Schlumberger Information Solutions 21 July 2005
27. Лобасов А. П. Опыт разработки интерфейса с картографической базой данных в среде ArcView (на примере геоинформационной системы "Нефть и газ Украины") / Лобасов А. П., Гребенников С. Е., Мироненко В. И. // Сб. тезисов семинара "Компьютерные технологии в региональных геологосъемочных, поисковых и разведочных работах на твердые полезные ископаемые" 30 марта - 2 апреля 1998 г. Киев.
28. Лобасов О. П. Особливості розробки сучасного інтерфейса з базою геолого-геофізичної інформації / О. П. Лобасов, С. М. Галюк, П. О. Фенота // Геоінформатика. - 2006. - № 1. - С. 53-56.
29. Лобасов О.П. Моделі формування порових систем теригенних порід в нижньокам'яновугільних відкладах Дніпровсько-Донецької западини : дис. канд. геол. наук: 04.00.21 / Лобасов О.П.; НАН України, Ін-т геол. наук. - Київ, 2003. — 122 с.

- 30.Роджерс Д. Математические основы машинной графики: пер. с англ. / Роджерс Д., Адамс Дж. – М.: Мир, 2001. – 604 с.
- 31.Руководство по ГИС-анализу (пространственные модели и взаимосвязи). — М.: Есомм, 2006. – 179 с.
- 32.Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение / А. В. Скворцов. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. - 128 с.
- 33.ArcView. Руководство пользователя. - ESRI, 1996. - 300 с.
- 34.Dolinskiy, I.P., Haharin, A.A., Lobasov, A.P. Application of methods and software-algorithmic means for simulation of geological objects constructed in the absence of a priori information // 18th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied
- 35.Dolinskiy, I.P., Haharin, A.A., Lobasov, A.P. Specialized gis for construction and analysis of digital models of regional line geological objects. visualization means. // 19th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied
- 36.GEOGRAPHIX University GESXplorer R2000.3 GeoGraphix A Landmark Company 1860 Blake Street Suite 900 Denver, Colorado 80202
- 37.GEOGRAPHIX University PRIZM 6.0 An Introduction to the Prizm Log Interpretation System R2000.3 GeoGraphix A Landmark Company 1860 Blake Street Suite 900 Denver, Colorado 80202
- 38.GEOGRAPHIX University SeisVision 6.0 An Introduction to the SeisVision Interpretation System R2000.3 GeoGraphix A Landmark Company 1860 Blake Street Suite 900 Denver, Colorado 80202
- 39.MapInfo Professional 9.0 Руководство пользователя MapInfo Coiporation Troy. New York. - 2007. - 620 с.
- 40.Petel 2005 Введение в Petrel v.2005 Schlumberger Information Solutions 16 April 2009

ДОДАТКИ

Додаток А

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія:

1. Гагарін О.О. Методика побудови 3D – моделей геологічних розрізів за даними 2D – моделей / Гагарін О.О., Долинський І.П. // Інформаційне і програмне забезпечення системи моніторингу стану довкілля у зоні впливу атомних електростанцій; за загальною редакцією С. О. Лук'яненка. – К.: Видавничо-поліграфічне підприємство "ТЕКСТ", 2015. – С. 42-47.

2. Гагарін О.О. Системи побудови та проведення аналізу 3D – моделей регіональних об'єктів / Гагарін О.О., Долинський І.П. // Інформаційне і програмне забезпечення системи моніторингу стану довкілля у зоні впливу атомних електростанцій; за загальною редакцією С. О. Лук'яненка. – К.: Видавничо-поліграфічне підприємство "ТЕКСТ", 2015. – С. 72-79.

*Статті у наукових фахових виданнях України:**(які входять до переліку ВАК/МОН України)*

3. Долинський І. П. Геоінформаційні системи в нафтогазовій геології. Досвід та перспективи використання / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Мінеральні ресурси України. - К.: УкрДГРІ, 2012. - №1. - С. 33-34

4. Долинський, І. П. Засоби 3D візуалізації регіональних структурно-літологічних моделей нафтогазової геології. / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Мінеральні ресурси України. - К.: УкрДГРІ, 2012. - №2. С. 20-22

5. Долинський І. П. Метод побудови та візуалізація стратиграфічного куба / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Вісник Університету "Україна". Серія "Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика" / Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". — К. : Ун-т "Україна", 2015. – Вип. 1(17). – С 147-152

6. Долинський, І., Гагарін, О., & Лобасов, О. (2020). Розробка засобів візуалізації цифрових моделей геологічних об'єктів в середовищі геоінформаційної системи arcview 3.п. Проблеми та перспективи нафтогазової промисловості, 1(4), 40-55. <https://doi.org/10.32822/naftogazscience.2020.04.040>

*Статті у наукових фахових виданнях України,
які входять до міжнародних наукометричних баз даних:
(за умови, що на момент публікації статті видання вже внесене до міжнародної
наукометричної бази даних)*

7. Долинський, І. П. Математичне і технологічне забезпечення 3D геологічного моделювання в ГІС середовищі. / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Геоінформатика. - К.: НАНУ, ін-т геологічних наук, 2013. - № 1. - С. 49-53

8. Долинський І. П. Апробація комплексу програм 3D регіонального моделювання на прикладі геологічних об'єктів Дніпровсько-Донецької западини / І. П. Долинський // Геоінформатика. - 2014. - № 4. - С. 37-47

9. Долинський І. П. Геоінформаційний експертно-моделюючий комплекс дослідження регіональних моделей в геології /Долинський І. П. // Вісник Київського національного університету. Геологія. – 2017 р. – Вип. 4(79). – С. 86-91

*Статті в іноземних виданнях:
(тільки закордонні періодичні (ISSN) наукові фахові видання;
статті у міжнародних збірниках за матеріалами конференцій, навіть
внесені до SCOPUS чи ін. міжнародної наукометричної бази даних сюди не
входять)*

10. Долинский И. П. Применение алгоритмов пространственной классификации и кластеризации в задаче прогноза нефтегазоносности / И. П. Долинский, А. П. Лобасов // Геоинформатика. – М.: ФГУП ГНЦ РФ "ВНИИГеоситем", 2014. - № 1. – С. 64-70

Статті в інших виданнях:

(статті у неперіодичних збірниках наукових праць (ISBN), у т.ч. статті у збірниках за матеріалами конференцій)

11 Долинський І. П. Лінійна інтерполяція на триангульованій області як метод побудови 2D моделей параметрів за відсутності апріорної інформації / І.П. Долинський, О.П. Лобасов, В.М. Огарков // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: збірник наукових праць. – 2015. – Вип. 12. – С. 95-102.

Тези наукових доповідей:

12 Долинський І. П. Засоби візуалізації регіональних цифрових геологічних моделей в ГІС-середовищі. / Долинський І. П., Лобасов О. П. [Електронний ресурс] // Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти: IX Міжнар. конф., 11-14 трав. 2010 р.: тези.

13 Долинський, І. П. Застосування засобів 3D візуалізація на прикладі регіональної структурної моделі мезозойських відкладів однієї з ділянок Дніпровсько-Донецької западини. / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Комп'ютерні технології: наука і освіта : тези доп. : VIII Всеукр. наук.- практ. конф. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". – К., 2013. – С. 27-32

14 Долинський І. П. Методи та програмно-алгоритмічні засоби побудови моделей параметрів за відсутності апріорної інформації / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Комп'ютерні технології: наука і освіта : тези доп. : IX Всеукр. наук.- практ. конф. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". – К., 2015. – С. 23-25

15 Долинський І. П. Методи побудови та дослідження характеристик геологічних об'єктів за відсутності апріорної інформації / І. П. Долинський // Комп'ютерні технології: наука і освіта : тези доп. : X Всеукр. наук.- практ. конф. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". – К., 2017. – С. 23-24

16 Долинський І. П. Геоінформаційний експертно-моделюючий комплекс оцінки регіональних моделей в геології / Долинський І. П. [Електронний ресурс] // Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти: XVI Міжнар. конф., 15-17 трав. 2017 р.: тези.

17 Dolinskiy, I.P., Haharin, A.A., Lobasov, A.P. Application of methods and software-algorithmic means for simulation of geological objects constructed in the absence of a priori information // 18th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied

18 Dolinskiy, I.P., Haharin, A.A., Lobasov, A.P. Specialized gis for construction and analysis of digital models of regional line geological objects. visualization means. // 19th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied

Апробація результатів дослідження

1. IX Міжнародна конференція «Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти» (Київ 11-14 травня 2010 р.);
2. VIII Всеукраїнська науково-практична конференція «Комп'ютерні технології: наука і освіта» (Київ 2013);
3. IX Всеукраїнська науково-практична конференція «Комп'ютерні технології: наука і освіта» (Київ 2015);
4. X Всеукраїнська науково-практична конференція «Комп'ютерні технології: наука і освіта» (Київ 30-31 березня 2017);
5. XVI Міжнародна конференція «Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти» (Київ 15-17 травня 2017 р.);
6. XVIII Міжнародна конференція «Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти» (Київ 13-16 травня 2019 р.);
7. XIX Міжнародна конференція «Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти» (Київ 11-14 травня 2020 р.);