

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІДКРИТИЙ МІЖНАРОДНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РОЗВИТКУ ЛЮДИНИ
«УКРАЇНА»

ДОЛИНСЬКИЙ ІГОР ПЕТРОВИЧ

УДК 681.518:553.98

**ПРОГРАМНІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ
МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ ВІДСУТНОСТІ
ДЕТАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ЇХ ПОБУДОВИ**

Спеціальність 01.05.03 "Математичне та програмне забезпечення обчислювальних
машин і систем"

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформаційних технологій та програмування Відкритий міжнародний університет розвитку людини "Україна" (м. Київ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент

ГАГАРІН Олександр Олександрович

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів та систем

Офіційні опоненти: – доктор фізико-математичних наук

ПАШКО Анатолій Олексійович

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
професор кафедри теоретичної кібернетики

– кандидат технічних наук, доцент

ЛІЩИНА Валерій Олександрович

Луцький національний технічний університету доцент кафедри комп'ютерних наук.

Захист дисертації відбудеться 22 квітня 2021 р. о 16 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.139.03 у Відкритому міжнародному університеті розвитку людини «Україна» за адресою: 03115, м. Київ, вул. Львівська, 23

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна» за адресою: 03115, м. Київ, вул. Львівська, 23

Автореферат розісланий 18 березня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 26.139.03

О.І. Бескровний

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 моделі локальних та регіональних об'єктів.

Локальні геологічні об'єкти мають згущений каркас даних та, як правило, охарактеризовані даними отриманих з густої мережи 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 Schlemberger, 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 необхідність дослідження їх впливу на цілісну картину району моніторингу узагальненого регіонального об'єкту реально існує. Тому розробка засобів видобування та оцінювання додаткових даних регіональних геологічних об'єктів в задачах аналізу геоданих є актуальною.

Отже, на сьогодні є актуальними роботи пов'язані з розробкою методів та засобів їх реалізації для систем побудови, маніпулювання та візуального аналізу регіональних об'єктів, а також узагальнення основних функційних вимог та принципів побудови, яким повинна задовольняти система 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 були успішно використані у роботі, що здійснювалася на кафедрі “автоматизації проектування енергетичних процесів та систем» АПЕПС” НТУУ “КПІ”: “Автоматизація моніторингу гідрохімічного стану підземних вод АЕС” (№ ДР 0115U000329)

Мета і завдання дослідження.

Дисертаційна робота присвячена створенню та реалізації алгоритмічних та структурних основ побудови інструментальних програмних засобів спеціалізованої

системи з проведення математичного моделювання регіональних геологічних об'єктів в галузі нафтогазової геології для яких частіш за все відсутня апріорна інформація для проведення їх поглибленого дослідження.

Для досягнення мети визначені наступні задачі досліджень необхідно:

- 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 методи та засоби побудови та просторового аналізу регіональних геологічних моделей;
- розробити засоби візуалізації регіональних 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 – методи та засоби побудови та моделювання регіональних геологічних об'єктів в системі моделювання та комплексного аналізу моделей 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 одержаних 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 мінімальний набір функціональних вимог до систем такого класу який складається з наступних:

- 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 узгодження характеристик локальних об'єктів до характеристик регіональних об'єктів на базі процедур класифікації та кластеризації;

- 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 сформувавши мінімальний функціональний набір програмних засобів роботи з цифровими моделями геологічних об'єктів при виконанні типових процедур їх дослідження та визначити структурний склад програмних компонентів комплексу з наступних частин:

- функціональний комплекс програм 2D моделювання;
- комплекс програм просторового аналізу моделей;
- комплексу програм 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 дозволило значно поширити коло досліджень геологічних районів у різних напрямках.

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 затребуваних параметрів що дозволило значно підвищити показники якості моделі регіонального об'єкту, що створюється.

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

7. Запропоновано набір інструментальних засобів візуального дослідження моделі регіонального об'єкта, який значно покращив можливості вироблення 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 видо-

бування 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 рекомендацій 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 прийняття рішень у галузі нафтогазової геології.

Практичне значення отриманих результатів/

Наукові результати, представленої дисертаційної роботи сприяють розробці спеціалізованого програмного забезпечення яке здатне будувати геологічні об'єкти на будь-якій стадії дослідження.

Теоретичні результати дослідження, представлені у вигляді розроблених методів, дозволяють розробити спеціалізовану систему моделювання геологічних об'єктів при умові нерівномірного розповсюдження інформації для їх побудови. Крім цього спроектована система забезпечує виконання типових процедур дослідження геологічних районів та побудову тематичних карт з визначеними параметрами..

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 проект був успішно апробований 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

ГІС- середовищі [1,3,5], дослідженні перспектив використання геоінформаційних систем в нафтогазовій геології [2], розробці технологічного забезпечення 3D геологічного моделювання [4,7], визначенні задач аналізу регіональних моделей та алгоритмів їх розв'язання [6-18].

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).

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновку та додатку. Вона містить 135 сторінок машинописного тексту, включаючи 79 рисунки, 2 таблиці, список використаних джерел з 22 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність досліджень, сформульовані мета і завдання досліджень, приведені основні наукові положення та результати, що винесені на захист, а також відомості про практичне значення результатів роботи, їх апробацію і публікацію матеріалів дослідження.

У першому розділі представлено огляд геоінформаційних систем в геології, досвід та проблеми їх використання при проведенні робіт з побудови та аналізу геоданих.

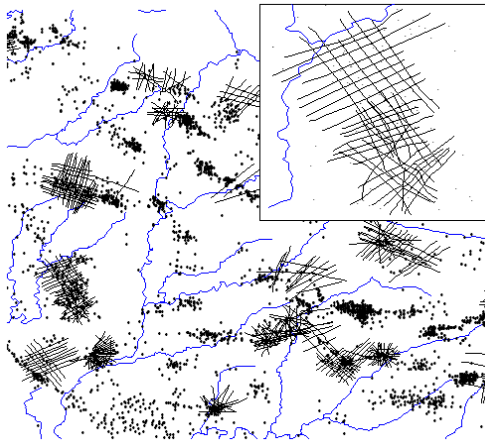


Рис. 1. Інформаційний простір для побудови локальних і регіональних геологічних моделей

Першими в межах напрямку геоінформаційних технологій були універсальні системи, які служили для оперування просторовою інформацією і розв'язання різноманітних практичних задач в різних галузях науки та виробництва. Одними з перших і найбільш вдалих систем цього типу є програмні продукти серії ArcView-ArcInfo-ArcGIS та MapInfo. Ці універсальні системи мають функціонально різноманітний інтерфейс користувача, проте головне їх значення полягає в наявності потужних засобів розробки спеціалізованих вузькоорієнтованих систем з розширеним арсеналом мож-

ливостей порівняно із стандартними для вирішення специфічних задач. Сьогодні багато розробників програмного забезпечення, які працюють в галузі ГІС-технологій у геології використовують цю можливість та створюють свої середовища розробки, починаючи з нижнього рівня, які мають схожий з ними інтерфейс користувача і підтримують формати даних, які стали стандартами в світі геоінформаційних систем.

У другому розділі викладені вимоги до функціональності геоінформаційної системи побудови та проведення регіонального геологічного моделювання.

Показано що сучасні дослідження в галузі нафтогазової геології обов'язково закінчуються побудовою тривимірної геологічної моделі, яка, в свою чергу, є основою для вироблення та прийняття технологічних і фінансових рішень. Рис.1 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. Якщо проблему побудови моделей локальних об'єктів можна вважати вирішеною, то питання побудови регіональних геологічних моделей, залишається наразі відкритою. 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 побудови та дослідження регіональних геологічних моделей витікає із того факту, що без їх вивчення залишаються непізнаними закономірності між локальними об'єктами. А тому, моделі регіонального об'єкту є основним джерелом інформації про походження, особливості будови та доповнюють основні властивості локальних об'єктів що входять до його складу (другим джерелом є моделі самих локальних об'єктів). Крім цього, модель регіонального об'єкту є основою для прогнозування та пошуків локальних об'єктів в діапазоні заданих властивостей.

Для роботи з цифровими регіональними моделями потрібно мати спеціалізовані функціонал системи на базі ГІС технології. Більшість сучасних ГІС здійснюють комплексну обробку інформації, використовуючи такі функції як: підтримка процедур побудови та аналізу моделей просторових даних, введення, редагування та зберігання інформації, різні техніки перетворення систем координат і трансформація картографічних проекцій, растрово-векторні операції, вимірювальні операції, полігональні операції, операції просторового аналізу, різні види просторового моделювання, цифрове моделювання рельєфу та аналіз поверхонь, подання результатів у різних формах.

Визначення максимального переліку вимог до геоінформаційної системи сьогодні є одним із найважливіших кроків у розробки систем моделювання та аналізу геоданих. Такі системи повинні задовольняти певним вимогам щодо функціональності. У роботі пропонується мінімальний функціонал, який включає:

функції підтримки побудови моделей просторових даних в умовах відсутності апріорної інформації;

функції просторового аналізу сформованих моделей для створення картографічних матеріалів з кластером заданих властивостей;

функції графічної візуалізації геоданих при створенні розрізів, проекції та кубів районів дослідження.

Реалізація запропонованого функціоналу може бути реалізована трьома комплексами програм, а саме:

- комплексу програм 2D моделювання. Програми цього комплексу повинні працювати з різнобічною вихідною інформацією і давати можливість використання

апріорної інформації у формі картографічних матеріалів (гридів або цифрових карт в ізолініях, апріорних точок з вихідною інформацією);

- комплексу програм просторового аналізу 2D моделей, який забезпечить побудову карт розподілу кластерів на площині районів дослідження, здійснювати аналіз та надання рекомендацій щодо подальших геологічних досліджень;
- комплексу програм 2D і 3D візуалізації надасть користувачеві можливість будувати горизонтальні та вертикальні розрізи, аксонометричні проекції, побудову 3D зображень кубів вирізаних з геологічного тіла.

Всі комплекси повинні мати простий інтуїтивно зрозумілий геологу інтерфейс (традиційні піктограми з означенням процедур) і надавати йому можливість зручної і ефективної роботи з картографічним матеріалом.

Третій розділ присвячений розробки методик видобування додаткових даних для побудови цифрових моделей та технологічних схем процедур аналізу отриманих моделей з ціллю надання інформації для подальших геологічних досліджень.

Для побудови цифрових геологічних моделей пропонується наступна методика.

Вибір вхідних даних для процедури створення моделей структурних і ємнісно-фільтраційних параметрів повинна здійснюватись з урахуванням тектонічних порушень, соляних штоків та усієї наявної інформації. Ця інформація є апріорно існуючою та формується з наступних джерел:

- карт, побудованих попередниками, з котрих використовуються значення параметрів в свердловинах, на сейсморозвідувальних профілях та оцифрованих карт в ізолініях;
- теоретичних уявлень про характер просторового розподілу параметру, представлених у вигляді карти, числової моделі (гриду), аналітично визначеної функції,
- контурів областей визначення параметру (наприклад, контуру поширення геологічного тіла в просторі)

За наявністю такої інформації побудова моделі використовується методом сплайн-апроксимації з використанням попередньо побудованих моделей-аналогів (за умови схожості на них результуючої поверхні по формі або значеннях).

При відсутності природньої апріорної інформації (на фоні нерівномірного розподілу і рідкої мережі точок спостереження для регіональної моделі) модель будується засобами ітераційної сплайн-апроксимації із застосуванням техніки автоаналога. Процес є ітераційним. На i -му кроці, будується поверхня з високим ступенем згладжування. На $(i+1)$ -му кроці ця поверхня використовується як аналог, а результуюча поверхня будується з меншим ступенем згладжування і схожістю на аналог.

Для моделювання параметрів, неперервних в області дослідження і визначених лише в додатньому напівпросторі (наприклад, температура, мінералізація) в умовах недостатності вихідної інформації і відсутності аналогів пропонується метод ітераційної лінійної інтерполяції на трикутних сітках.

Для розбиття області на трикутники використовується загальновідомий і простий покроковий алгоритм прямої побудови триангуляції Делоне.

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.

Наступні трикутники будуються на зовнішніх сторонах вже існуючої на цей момент області триангуляції в цей же спосіб, доки 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:

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

$$d_1 = \sqrt{[(X_1 - X_3)^2 + (Y_1 - Y_3)^2]}, \quad d_2 = \sqrt{[(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2]}$$

Алгоритм лінійної інтерполяції на триангульованій області, за допомогою якого розраховуються значення параметру Z в заданих точках, наведено нижче:

$$k_1 = (X_2 - X_1) / (Y_2 - Y_1), \quad k_2 = (X - X_3) / (Y - Y_3), \quad Y_t = (X_1 - X_3 - Y_1 * k_1 + Y_3 * k_2) / (k_2 - k_1),$$

$$X_t = X_1 + (Y_t - Y_1) * k_1, \quad w_1 = \sqrt{(X_1 - X_t)^2 + (Y_1 - Y_t)^2} / \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}$$

$$w_2 = \sqrt{(X_t - X)^2 + (Y_t - Y)^2} / \sqrt{(X_t - X_3)^2 + (Y_t - Y_3)^2}, \quad Z_t = Z_1 * (1 - w_1) + Z_2 * w_1,$$

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

(X_t, Y_t, Z_t) – проміжна допоміжна точка

Ітераційний процес завершується після утворення достатньо густої трикутної сітки вихідних точок та точок з розрахованими значеннями параметру. Отримана множина точок згладжується засобами сплайн-інтерполяції

В дисертаційній роботі наведені матеріали апробація методу на множині відміток покрівлі картамиської світи нижньо пермського відділу однієї з ділянок Дніпровсько-Донецької западини. Результати апробації свідчать, що метод за своєю природою забезпечує інтерполяцію значень у вихідних точках вже на першій ітерації. Із збільшенням числа ітерацій модель наближається до моделі, отриманої методом сплайн-апроксимації на об'єднаному масиві вихідних і модельних точок.

Методики побудови засобів візуалізації регіональних цифрових моделей реалізуються наступними алгоритмами та забезпечують користувачів процедурами створення горизонтальних та вертикальних зрізів та аксонометричних поверхонь та інші.

Алгоритм побудови горизонтального зрізу

Першим кроком в побудові є створення ґрідy **horgrid** із значення горизонтального зрізу (**Hor**). В термінах ArcView(Avenue) операція записується наступним чином:

horgrid = Grid.MakeFromNumb(**Hor**)

Основна операція – побудова цілочисленого ґрідy **mapgrid** з допомогою методу ґрід-класу GridsLessThan:

mapgrid = horgrid.GridsLessThan(**g_list**)

Список ґрідів структурних границь регіонального геологічного об'єкту - **g_list** формується в діалозі з користувачем.

Значення у вузлі ґрідy **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 підосвою шару, що виходить на горизонтальну поверхню **horgrid**.

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

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

В атрибутивній таблиці resttheme зберігається номер поверхні (шару)

Алгоритм побудови вертикального розрізу

Процедура побудови вертикального розрізу розпадається на такі операції.

1. Розрахунок значень всіх ґрид-поверхонь в регулярно розташованих на трасі розрізу точках із кроком dl .
2. Перерахунок точок в систему координат розрізу. 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 полігонів, що обмежуються двома сусідніми границями.

Алгоритм побудови аксонометричної поверхні

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 135о.

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

$$x_1 = x_0 + x_0 * \cos(L) + y_0 * \sin(L), \quad y_1 = y_0 + y_0 * \cos(L) - x_0 * \sin(L) + y_m$$

$$x_0 = (x - x_{dr}) + (y - y_{dr}) * \sin(L), \quad y_0 = (y - y_{dr}) - (x - x_{dr}) * \sin(L) * \cos(L) * (1 - \cos(L))^{-1}$$

тут

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

Ліва грань

$$x_1 = -(D_l - x_0) * \cos(L/2), \quad y_1 = y_0 + (D_l - x_0) * \sin(L/2), \quad x_0 = (x - x_{\min}) * D_l / (x_{\max} - x_{\min}), \quad y_0 = y$$

тут

D_l – полудіагональ ділянки аксонометричної проекції, $x_{\max}, x_{\min}$ – максимальна і мінімальна горизонтальні координати на розрізі лівої грані

Права грань

$$x_1 = x_0 * \cos(L/2), \quad y_1 = y_0 + x_0 * \sin(L/2), \quad x_0 = (x - x_{\min}) * D_l / (x_{\max} - x_{\min}), \quad y_0 = y$$

Алгоритм побудови 3D моделі структурно-літологічного куба

Вихідною інформацією для побудови є текстовий файл, який містить координати полігонів, що утворюються при перетині гранями кубу товщі нижньої пермі, та коди їх кольору згідно стратиграфічної легенди. Програма формування вихідного текстового файлу в якості вихідної інформації використовує набір ґридів геологічних границь, між якими знаходяться відклади світ нижньої пермі.

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

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

$$C_1 = TC$$

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

$$\text{матриця повороту } T = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

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 [5], який полягає в наступному:

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

$$xn = Ay * (Bz - Cz) + By * (Cz - Az) + Cy * (Az - Bz)$$

$$yn = Az * (Bx - Cx) + Bz * (Cx - Ax) + Cz * (Ax - Bx)$$

$$zn = Ax * (By - Cy) + Bx * (Cy - Ay) + Cx * (Ay - By)$$

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

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.

Методики щодо просторового аналізу даних моделювання цифрових моделей вирішують найчисленнішу 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 дві найважливіші задачі цієї групи: задачу просторової кластеризації і класифікації. Перша полягає у картуванні в межах моделі геологічного об'єкту ділянок, однорідних в просторі геолого-геофізичних параметрів. Друга – у виділенні в межах об'єкту ділянок із заданими властивостями. Методики реалізуються на наступних алгоритмах

Просторова кластеризація

Задача кластеризації починається з визначення багатовимірному 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 дослі-

дження визначають їх властивості важливі з точки зору цільової задачі. Аналогом таблиці «об'єкти – властивості (параметри)» в геоінформаційному підході виступає множина «просторових ґридів (числових моделей) – їх параметрів» (просторовий ґрид – регулярна точкова мережа точок, в яких визначені значення певного параметру).

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 властива лише для геоінформаційного підходу і 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).

Просторовій кластеризації підлягає кожний вузол регулярної мережі точок, яка покриває всю область дослідження. Просторова кластеризація 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. При математичній ортогоналізації, яка 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.

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. “Кут” між векторами X та Y в багатовимірному просторі параметрів розраховується на базі формули скалярного добутку двох векторів.

$$\cos(L) = X * Y / |X| * |Y|$$

де $X = \{ X1, X2, \dots, XI, \dots, XN \}$, $Y = \{ Y1, Y2, \dots, YI, \dots, YN \}$
 $|X|$, $|Y|$ – 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).

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 пара-

метрів. 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:

$$|X - Y| / E_x * E_y$$

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.

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 кла-

стерів. Останнім кроком в задачі кластеризації є змістовна інтерпретація (визначення природи) виділених кластерів.

Просторова класифікація

Просторова класифікація полягає у виділенні в геологічному середовищі об'єктів, із а ргіогі заданими властивостями-параметрами, які визначаються координатами центрів ваги 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.

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).

В тексті дисертації детально описано алгоритми побудови моделей, їх аналізу та візуалізації.

Четвертий розділ присвячений опису методики геологічного моделювання геооб'єктів на спроектованому програмному комплексі та практичній апробації геоінформаційної системи 3D моделювання на реальному геологічному матеріалі.

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 апіорної 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.

Апробація комплексу програм регіонального геологічного моделювання і візуалізації проводилась на геологічних об'єктах головного нафтогазоносного району України – Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Вибір визначався наявною свердловинною інформацією і прагненням продемонструвати працездатність комплексу в різних геологічних умовах.

В якості об'єкту моделювання обрано найбільш продуктивні частини розрізу: турнейсько-нижньовізейський, верхньовізейський, серпухівський, середньокам'яновугільний та верхньокам'яновугільно-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), нижньотріасового (T_1), середньотріасового (T_2). 2D моделі цих границь будувались по свердловинних даних в середовищі програмного комплексу Geomapping.

Кластеризація і класифікація нафтогазоперспективних об'єктів в межах ділянок апробації проводилась в просторі 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). Цифрові моделі факторів побудовані автором за свердловинними даними, отриманими в результаті пошуково-розвідувального розбурювання зон апробації.

Детально результати досліджень на всіх трьох об'єктах наведено в тексті дисертації та обговорювалися на конференціях [16,17].

Наведемо результати апробації запропонованої методики дослідження на прикладі Талалаєвсько-Артюхівської групи структур.

Талалаєвсько-Артюхівська група структур належить до Північної прибортової зони в Північно-Східній частині ДДЗ. В межах даного району буровими та сейсморозвідувальними роботами відкрито три нафтових та 10 нафтогазових і газоконденсатних родовищ.

На першому етапі з використанням техніки автоаналога були побудовані структурні поверхні підосв T_2 , T_1 , P_1 , C_3 , C_2 , C_1 . Далі виконувалось нормалізація границь, суть якої полягала в автоматичному визначенні границь поширення та товщин відкладів кожної з підосв. В основі нормалізації лежить логічний висновок, який полягає в тому, що більш молода границя не може бути нижчою за більш древню границю. Модель нормалізованої границі показано на рис.2а.

Для випробування розроблених засобів візуалізації моделі побудовані геологічна карта району на зрізі –2500 м (рис. 2б), геологічні розрізи по лініях I – I (рис. 3а) і II – II (рис. 3б).

Для виділеного на геологічній карті графікою ArcView квадрата А (рис. 2) побудовано аксонометричну проекцію (рис. 4).

Крім аксонометричної проекції, розроблені засоби візуалізації дозволяють побудувати трьохвимірний куб, всі грані якого доступні для огляду за допомогою спеціальних процедур його обертання (рис.5).

Для перевірки методик кластеризації елементів цифрової моделі території в просторі чотирьох факторів було проведено ряд експериментів результати яких наведено нижче (рис. 6а, 6б).

Результати кластеризації “по відстані” (рис. 6а) 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. 6а, 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.

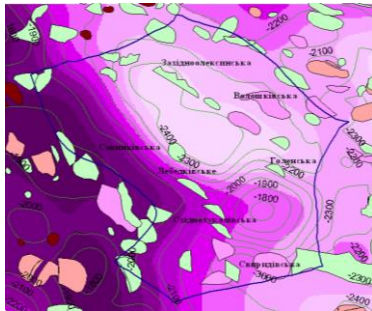


Рис. 2а. Структурна карта по підшві відкладів середньотріасового відділу

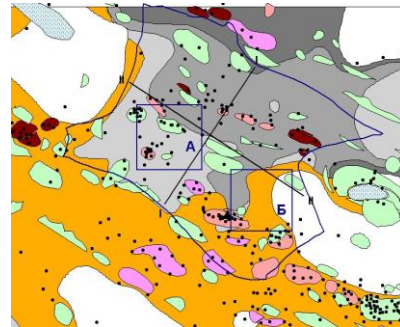


Рис. 2б. Геологічна карта на зрізі – 2500м

Результати кластеризації “по куту” (рис. 6б) 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 непродуктивними структурами, тобто не розділяються цим методом.

Результати класифікації структур на два класи: продуктивні і непродуктивні, демонструються на рисунках 8а, 8б.

Класифікація “по відстані” (рис. 8а) 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.

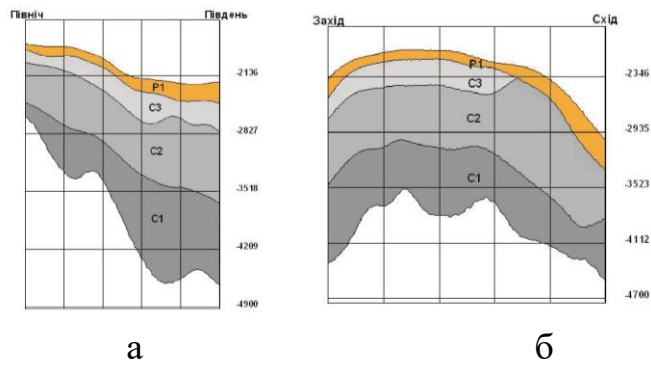


Рис. 3. Геологічний розріз а) по лінії I – I, б) по лінії II – II. Лінія розрізу показана на рис. 2б

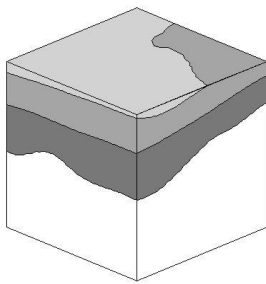


Рис. 4. Аксонометрична проекція (ділянка А рис 2)

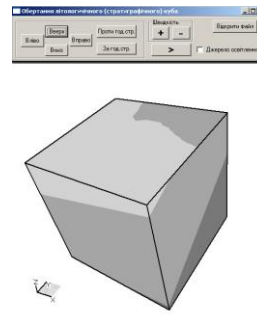


Рис. 5. Стратиграфічний куб (ділянка А рис 2)

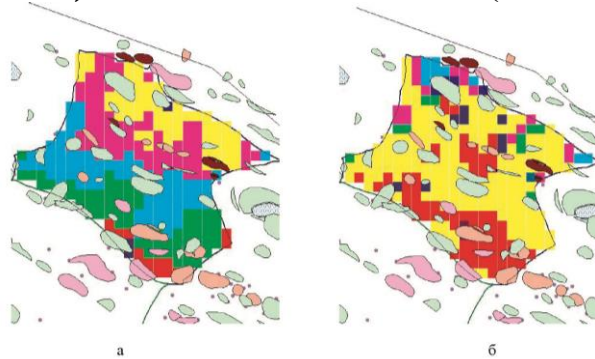


Рис. 6. Результати кластеризації а) “по відстані”. Гранична “відстань” – 250, б) “по куту”. Граничний “кут” – 0.15. Умовні позначення дані на рис. 7



Рис. 7. Легенда до результатів кластеризації та класифікації

Класифікація “по куту” (рис. 8б) навпаки задовільно розділяє родовища і непродуктивні структури. Матеріали по непродуктивних структур, які попали в продуктивну зону доцільно переглянути.

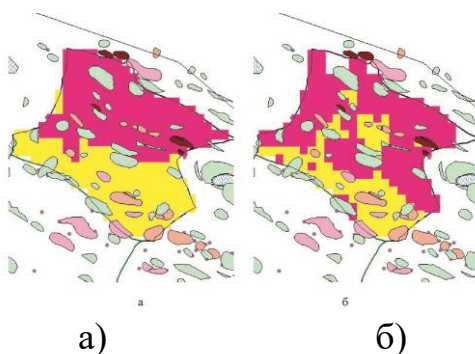


Рис. 8. Результати класифікації

а) “по відстані”. Гранична “відстань” – 100, б) “по куту”. Граничний “кут” – 2.

Наведені приклади дають змогу стверджувати що розроблений комплекс придатний для проведення ефективних досліджень цифрових геомodelей.

ВИСНОВКИ ТА ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

У дисертації наведено нове вирішення науково практичної задачі створення та реалізації алгоритмічних та структурних основ побудови інструментальних програмних засобів щодо створення та проведення якісного аналізу моделей регіональних геологічних об’єктів галузі геології в умовах недостатньої кількості вхідних даних та нерівномірної їх щільності. У роботі розвинуто ідеї видобування додаткових даних на основі процедур побудови моделей, властивості яких відповідають реальним геологічним об’єктам та забезпечують згладжування нерівномірності розподілу і усунення недостатності вихідної інформації при їх побудові та проведенні процедур аналізу. Запропоновані методики та інструментальні засоби їх реалізації включені до спеціального програмного забезпечення, яке здатне створювати адекватні моделі та забезпечувати якісне оцінювання перспективності розробки геологічних районів.

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 мінімальний набір функціональних вимог до систем такого класу який складається з наступних:

- 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 узгодження характеристик локальних об’єктів до характеристик регіональних об’єктів на базі процедур класифікації та кластеризації;
- 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 комплексу з наступних частин:

- функціональний комплекс програм 2D моделювання;
- комплекс програм просторового аналізу моделей;
- комплексу програм 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 дозволило значно поширити коло досліджень геологічних районів у різних напрямках.

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 затребуваних параметрів що дозволило значно підвищити показники якості моделі регіонального об'єкту, що створюється.

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

7. Запропоновано набір інструментальних засобів візуального дослідження моделі регіонального об'єкта, який значно покращив можливості вироблення 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.

Основні положення і результати дисертації опубліковані у роботах:

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: IX Міжнар. конф., 11-14 трав. 2010 р.: тези.

2. 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

3. 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

4. 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
5. Долинський, І. П. Застосування засобів 3D візуалізації 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
6. 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
7. 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
8. 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
9. 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
10. Долинський І. П. Метод побудови та візуалізації 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
11. 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
12. 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
13. 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

14. 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.

15. 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

16. Dolinskiy, I.P., Naharin, 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

17. Dolinskiy, I.P., Naharin, 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.

18. 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>

Посилання

19. Гребенніков С.Є. Геолого–математичне моделювання і географічні інформаційні системи в задачі моніторингу седиментаційних басейнів / Гребенніков С.Є. Лобасов О.П.// Вісник Київського національного університету. Геологія. – 2001р. – Вип. 19. – С. 28–31

20. Гребенніков С.Є. Моделювання будови осадових басейнів в середовищі ArcView. / Гребенніков С.Є. Лобасов О.П. // Мінеральні ресурси України. – 2003. – №4. – С. 37–43

АННОТАЦІЯ

Долинський І.П. Програмні інструментальні засоби реалізації систем моделювання геологічних об'єктів в умовах відсутності детальної інформації для їх побудови - Рукопис.

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,

Дисертаційна робота присвячена дослідженням 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. 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 ана-

лізу 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 головної нафтогазоносною провінції України – Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ).

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

АННОТАЦИЯ

Долинский И.П. Программные инструментальные средства реализации системы моделирования геологических объектов в условиях отсутствия подробной информации для их построения - Рукопис.

Диссертация на получение учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.05.03 "Математическое и программное обеспечение вычислительных машин и систем" – Открытый международных университет развития человека "Украина", Киев,

Диссертация посвящена исследованию методов построения средств манипулирования и визуального анализа региональных объектов, обобщению основных принципов разработки и общих требований, которым должна удовлетворять любая система для нужд анализа геодных. В работе проведен обзор существующих геоинформационных систем и сформировались общие требования к геоинформационной системы в области нефтегазовой геологии и определены структурные элементы геоинформационной системы, необходимые для построения и анализа региональных моделей. Впервые разработана методика пространственной класстеризации и классификации региональных геологических моделей с выделением локальных геологических объектов в ГИС-среде и предложено использование методов пространственной класстеризации и классификации региональных геологических моделей для картирования объектов. Усовершенствованные средства пространственного анализа региональных геологических объектов. Разработаны средства визуализации пространственных моделей в виде срезов, разрезов, аксонометрических проекций, кубов свойств. Построено целостную автоматизированную геоинформационную систему моделирования региональных геологических объектов на основе разработанных методов испытания которой проводилась на геологических объектах главной нефтегазоносною провинции Украины - Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ).

Ключевые слова: геоинформационная система, числовые региональные модели, пространственный анализ, 2D-3D визуализация, нефтегазовая геология

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.

The dissertation work is devoted to research of construction methods of manipulation means and visual analysis of regional objects, generalization of the basic principles of development and the general requirements as it is necessary to satisfy any system for needs of the geodata analysis. 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 formulated-lovani general requirements for geographic information systems in the field of petroleum geology and structural elements defined geographic information systems necessary for the construction and analysis of regional models. For the first time the technique of spatial class terizatsiyi and classification of regional geological models with the release of local geological objects in GIS environment and proposed methods using spatial clustering and classification models for regional geological mapping objects. Improved tools of spatial analysis of regional geological sites. Tools for visualization of spatial patterns in the form of cuts, cuts, axonometric projections, cubes properties. We construct a complete automated geographic information system modeling regional geological objects based on the developed test methods which conducted geological objects in the main oil province Ukraine - Dnieper-Donets depression (PPD).

Keywords: geoinformational system, numerical regional models, space analysis, 2D-3D visualization, oil&gas geology.

ДОЛИНСЬКИЙ Ігор Петрович

ПРОГРАМНІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ
ГЕОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ ВІДСУТНОСТІ ДЕТАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ЇХ
ПОБУДОВИ

(Автореферат)