

І.П. Долинський, О.П. Лобасов

МАТЕМАТИЧНЕ І ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 3D ГЕОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ГІС-СЕРЕДОВИЩІ

Наведено геоінформаційну систему для побудови і обробки 2D–3D геологічних моделей, в першу чергу регіональних, у галузі нафтогазової геології. У функціональному відношенні розглянуто програмні комплекси, які входять до складу системи. Програмні засоби візуалізації моделей детально продемонстровано на численних прикладах. Відповідне програмне забезпечення створено в ГІС-середовищі з використанням компіляторів Delphi і Fortran.

Ключові слова: геоінформаційна система, 3D візуалізація, комп'ютерна графіка.

Вступ. 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 розв'язаною, то питання побудови регіональних геологічних моделей, які містять велику кількість локальних об'єктів і недосліджену територію між ними, залишається на цей раз відкритим. Стаття присвячена розробці геоінформаційної системи (ГІС) для побудови регіональних геологічних моделей та її функціональному наповненню, зокрема візуалізації структурно-літологічних розрізів, горизонтальних зрізів (карт), кубів за допомогою зручного та інтуїтивно зрозумілого для геологів інструментарію.

Постановка задачі та її обґрунтування. Основна форма зображення 3D числової моделі – набір тривимірних ґридів параметрів $P_i = F_i(X, Y, Z)$ (рис. 1, а). Проте для об'єктів шаруватої структури, характерної для значної частини геологічних тіл (надалі розглянуто саме такі тіла), 3D числову модель геологічного об'єкта можна представити набором 2D ґридів геологічних меж (границь) і літологічних (ємнісно-фільтраційних, інженерно-геологічних) параметрів $P_i = F_i(X, Y)$ (рис. 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. Отже, задача 3D моделювання геологічних об'єктів зводиться до побудови моделей меж і параметрів засобами 2D моделювання з подальшою візуалізацією і просторовим аналізом моделі для виходу на практичні результати.

Моделі шаруватих геологічних тіл поділяють на локальні (моделі об'єктів) та регіональні, які

розрізняються за розміром території дослідження і характером розподілу інформації. Локальне моделювання виконують переважно в інтерпретаційних системах і системах геологічного моделювання (Petrel, Geographix та ін.) і розрізняють за обсягом використовуваної вихідної інформації. Локальні геологічні об'єкти, як правило, охарактеризовані густою мережею свердловин та сейсморозвідувальних профілів. Регіональні дослі-

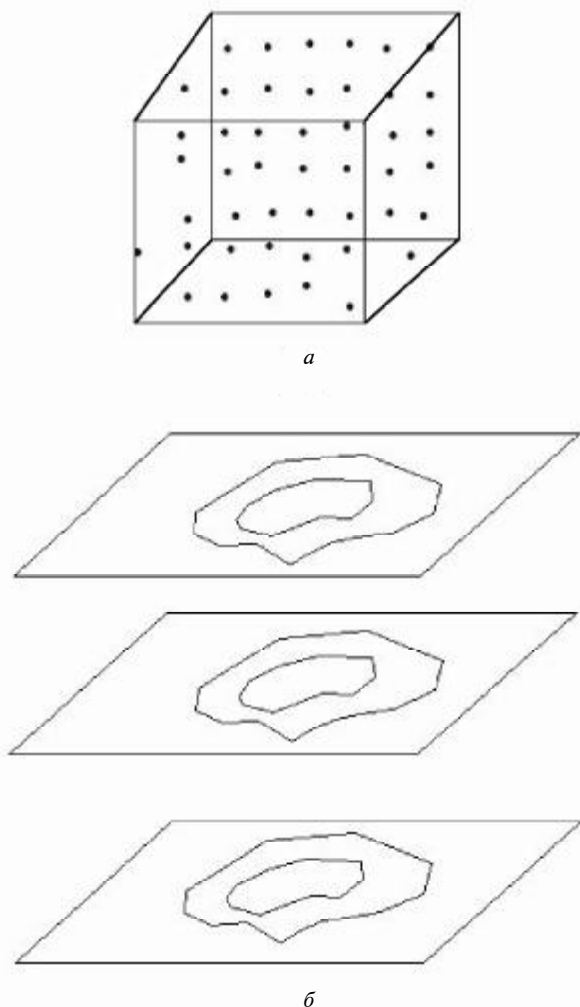


Рис. 1. Форми зображення 3D числової моделі

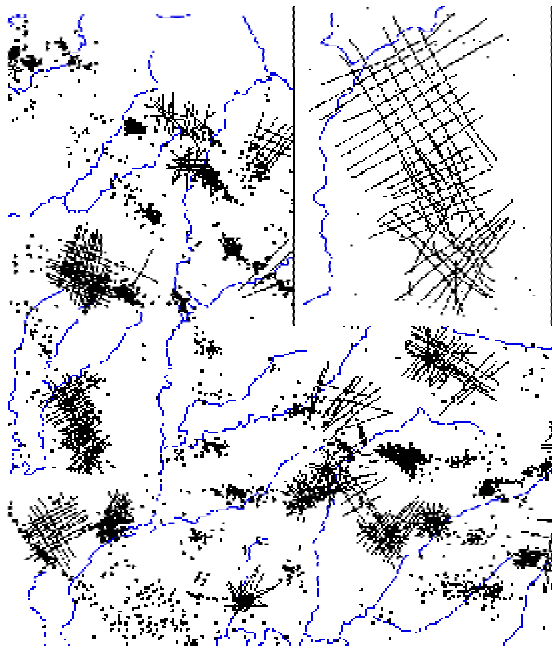


Рис. 2. Інформаційний простір для побудови локальних і регіональних геологічних моделей

дження включають у себе як локальні об'єкти, так і міжоб'єктний простір і характеризуються нерівномірним розподілом інформації (рис. 2). Інтерпретаційні системи та системи геологічного моделювання 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), природна апіорна інформація для побудови яких відсутня, і вони можуть бути створені лише засобами 3D інтерполяції. Тому для побудови регіональних моделей доцільно використовувати ГІС із спеціалізованими методами 2D моделювання, що враховують різномірну вихідну й апіорну інформацію, яка визначається природою геологічного середовища. Базовими програмними технологіями для розробки таких систем є ГІС-технології.

Функціональність програмного забезпечення для побудов 3D регіональних геологічних моделей.

У складі програмного забезпечення ГІС для побудови 3D регіональних геологічних моделей мають бути такі комплекси програм:

- А – для побудови 2D моделей геологічних меж (границь), літологічних та ємнісно-фільтраційних параметрів;
- В – 3D візуалізації моделей;
- С – просторового аналізу моделей (прийняття інженерних рішень).

Комплекс програм для побудови 2D моделей має давати можливість будувати моделі структурних і неструктурних параметрів з урахуванням тектонічних порушень, соляних штоків та усієї наявної інформації (значень параметра в свердловинах, на сейсморозвідувальних про-

філях, оцифрованих карт в ізолініях). Крім того, до процесу моделювання можна залучати апіорну інформацію у вигляді карт параметра, побудованих попередниками, теоретичних уявлень про характер просторового поширення параметра, виражених у вигляді карти, числової моделі (ґриду), аналітично визначеної функції, контурів ділянок визначення параметра (наприклад, контуру поширення геологічного тіла в просторі). Результат представляють у вигляді 2D ґриду певного параметра. Оптимальним програмним продуктом цього напрямку, виходячи з нашого досвіду моделювання, вважаємо програмний комплекс Geomapping, інтегрований у середовище ArcView 3.2 [1, 2].

Комплекс програм 3D візуалізації моделей має включати в себе побудову:

- а) 2D структурно-літологічних і параметричних розрізів;
- б) 2D структурно-літологічних горизонтальних зрізів (карт);
- в) 2D структурно-літологічних карт на геологічних поверхнях (наприклад, поверхнях розмиву) – вигляд знизу і зверху;
- г) побудову аксонометричних проєкцій частин геологічного тіла (вирізаних у геологічному тілі кубів); аксонометрична проєкція (псевдотривимірне зображення) – проєкція, яку отримують проєкціюванням геологічного тіла разом з тривимірною декартовою системою координат на площину, за якого жодна з координатних осей не проєцирована в точку;
- д) 3D зображень кубів, вирізаних із геологічного тіла, всі сторони яких завдяки обертанню доступні для огляду;
- е) 3D зображень геологічних меж (границь).

Комплекс програм просторового аналізу моделей має включати в себе:

- а) парну просторову кореляцію 2D моделей параметрів;
- б) парну просторову регресію 2D моделей параметрів (регресійні залежності використовують у сферах високої кореляції);
- в) просторову кластеризацію (виділення в геологічному тілі об'єктів, однорідних у просторі параметрів, що розглядаються);
- д) просторову класифікацію (виділення в геологічному тілі об'єктів із заданими властивостями);
- е) розрахунок об'ємів виділених у геологічному тілі об'єктів;
- ж) розрахунок екстремальних і середніх значень параметрів у геологічному тілі і у виділених в ньому об'єктах.

Візуалізації 3D геологічних моделей в ГІС-середовищі. Як уже згадувалося, 3D геологічна модель складається з набору ґридів геологічних меж (границь) (рис. 3) і набору ґридів літологічних і

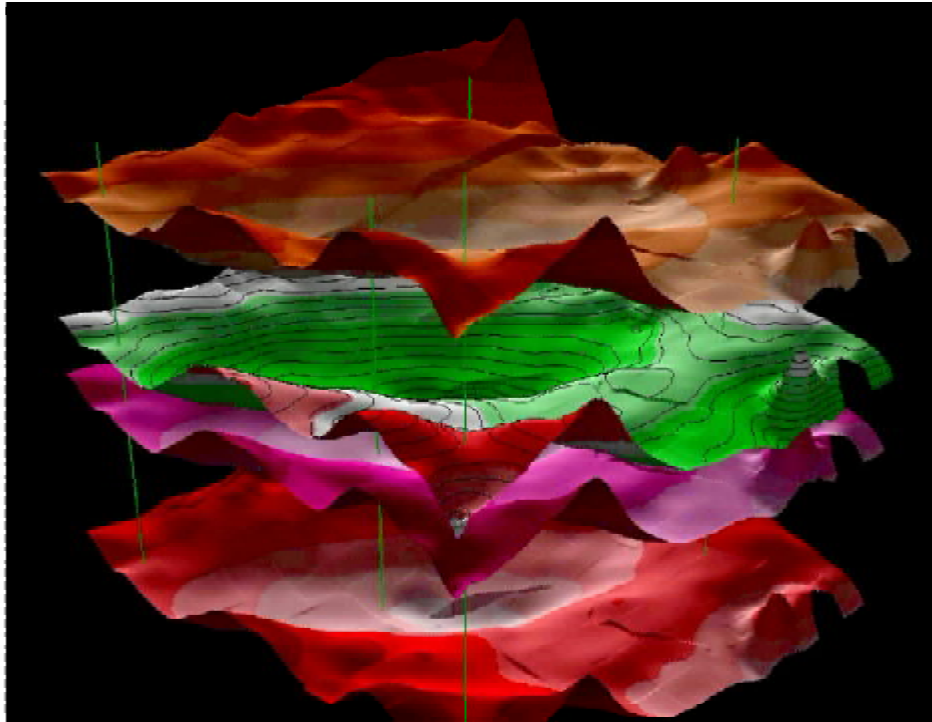


Рис. 3. Гриди геологічних меж (границь) – складові 3D геологічної моделі об'єкта

емнісних параметрів шарів, визначених у просторі між геологічними межами.

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 ґридами внутрішніх поверхонь-меж (границь) зверху вниз: покрівля краматорської світи, покрівля слов'янської світи, покрівля микитівської світи, покрівля картамиської світи, підшо́ва картамиської світи.

Геологічну карту нижньопермських відкладів Дніпровсько-Донецької западини на зрізі –2500 м (рис. 4) отримано для всього регіону; шари порід, що складають комплекс, задано у діалозі.

Ґриди слід розташовувати в робочому View починаючи зверху самою молодшою межею (границею), покрівлею краматорської світи і закінчуючи найдавнішою, підшо́вою картамиської світи. Карту будуємо за 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 й на негоризонтальних геологічних межах, наприклад, поверхнях неузгодження (при цьому будують карту підстеляючих відкладів і карту перекривних відкладів).

Програмне забезпечення візуалізації містить засоби побудови 2D розрізів (рис. 5). Розрізи будуємо уздовж довільних ламаних ліній, проведених у межах ділянки за допомогою графіки ArcView.

Виділимо на карті прямокутником за допомогою графіки ArcView довільну ділянку дослідження. Побудуємо для неї аксонометричну проекцію (рис. 6).

Крім аксонометричної проекції, на якій видно тільки три грані статичного куба, можна побудувати тривимірний куб, всі грані якого доступні для огляду за допомогою його в різних площинах (рис. 7). У кожен момент часу видно тільки 3 грані. Фактично це нескінченна кількість аксонометричних проекцій, з яких, обертаючи куб, можна вибрати проекцію з бажаними гранями в межах видимості (наприклад, проекцію, на якій видно нижню грань куба). Програму візуалізації літолого-стратиграфічного куба розроблено в середовищі

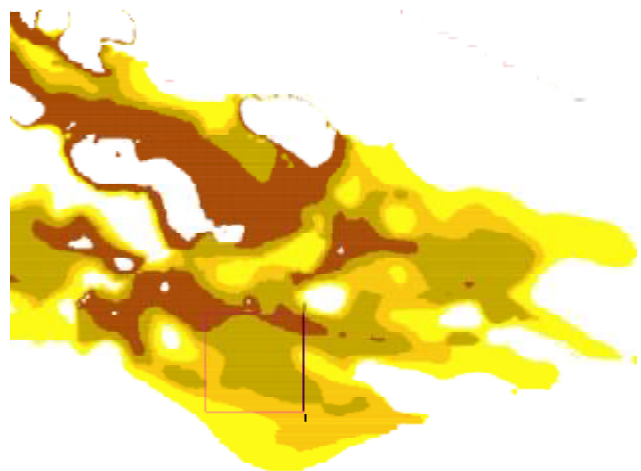


Рис. 4. Геологічна карта нижньопермських відкладів на зрізі –2500 м: I–I – лінія геологічного розрізу

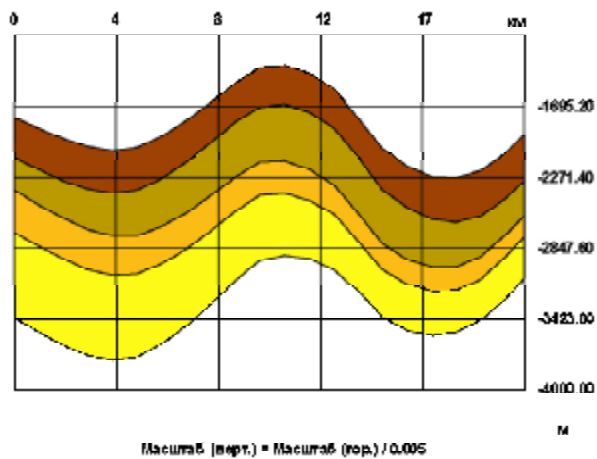


Рис. 5. Геологічний розріз по лінії I-I (лінію розрізу показано на рис. 4)

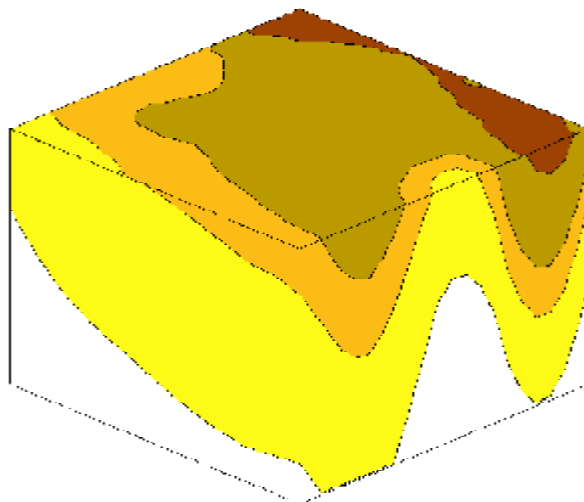


Рис. 6. Структурно-літологічний куб, вирізаний на ділянці, яку показано на рис. 4. Аксонометрична проекція

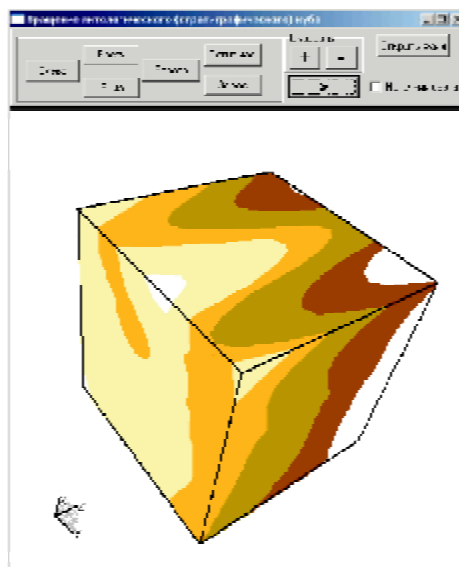
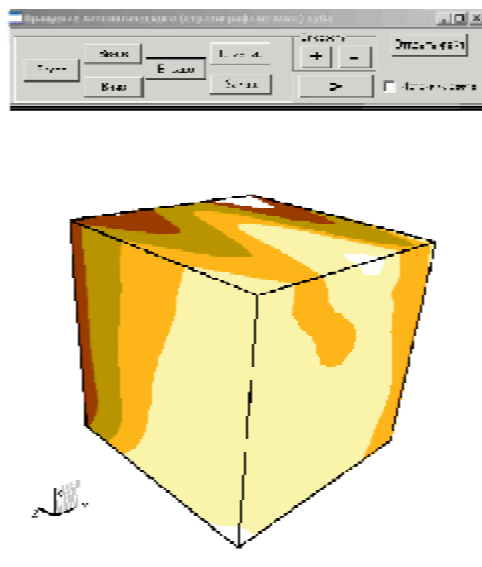


Рис. 7. Структурно-літологічний куб, вирізаний на ділянці, яку показано на рис. 4. 3D візуалізація

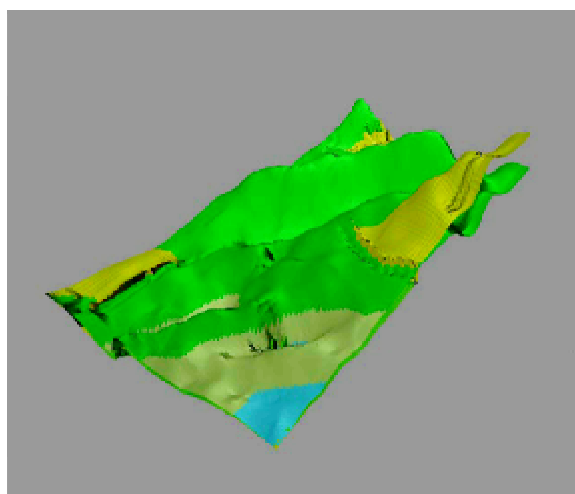


Рис. 8. Поверхня. 3D візуалізація

Delphi з інтерфейсом для вибору ділянки на карті та підготовки інформації для побудови куба в ArcView. Зв'язок між програмними середовищами реалізуємо через DLL-технологію. Обмін інформацією між ArcView і DLL-процедурою здійснюємо через текстовий файл, який програмно створюємо в тимчасовій робочій директорії. Легенду для шарів куба беремо з геологічної карти, яку використовували для визначення ділянки дослідження. Після підготовки інформації і виклику DLL-процедури остання завантажує вікно з власним інтерфейсом, елементи якого призначені для керування процесом обертання куба [3].

Аналогічно працює і процедура 3D візуалізації поверхонь геологічних меж (рис. 8). Кольором на поверхні позначаємо градації зміни значень Z-координати.

Програмне забезпечення. Система складається з трьох комплексів програм, адаптованих або розроблених у середовищах Fortran, Delphi й інтегрованих в проєкт ArcView за допомогою DLL-технології:

- А — для побудови 2D моделей геологічних меж (границь), літологічних та ємнісно-фільтраційних параметрів з урахуванням повного комплексу вихідної і апріорної інформації — Geomapping [1, 2]; розроблено в середовищі Fortran Power Station;
- В — 3D візуалізації моделей, розроблено в середовищах Delphi та ArcView.
- С — просторового аналізу моделей (прийняття інженерних рішень), розроблено в середовищі ArcView.

ДНВП “Геоінформ України”, Київ, Україна,
E-mail: dolinskiy_igor@mail.ru
ДП “Науканафтогаз”, Вишневе, Україна

И.П. Долинский, А.П. Лобасов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ 3D ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГИС-СРЕДЕ

Представлена геоинформационная система для построения и обработки 2D–3D геологических моделей, в первую очередь региональных, в отрасли нефтегазовой геологии. В функциональном отношении рассмотренные комплексы входят в состав данной системы. Программные средства визуализации моделей детально продемонстрированы на многочисленных примерах. Соответствующее программное обеспечение создано в ГИС-среде с использованием компиляторов, Delphi и Fortran.

Ключевые слова: геоинформационная система, 3D визуализация, компьютерная графика.

I.P. Dolynskiy, O.P. Lobasov

MATHEMATICAL AND TECHNOLOGICAL PROVISION OF 3D GEOLOGICAL MODELLING IN GIS ENVIRONMENT

The subject of this paper is geoinformational system for building and developing of 2-D, 3-D geological models, mainly regional ones, in oil & gas industry. The functional complexes of the geoinformational system have been discussed. The software tools for models' visualization are demonstrated in detail by multiple examples. The software was created in GIS environment using Delphi and Fortran compilers.

Keywords: geoinformational system, 3-D visualization, computer graphics.

Для керування процесами моделювання, візуалізації та просторового аналізу 3D регіональних геологічних моделей розроблено зручні “дружні” інтерфейси на базі стандартного об’єктно-орієнтованого інтерфейсу ArcView і загальноприйнятої геологічної термінології.

Висновки. Спроектовано і програмно реалізовано зручний та ефективний апарат (геоінформаційну систему) для побудови і обробки геологічних моделей в галузі нафтогазової геології, передусім регіональних, орієнтований на фахівця-геолога. Систему випробувано на реальному геологічному матеріалі, схвалено фахівцями-геологами. Сформульовано основні вимоги до таких систем.

В подальшому розроблену систему необхідно доповнити модулем інженерних розрахунків із визначенням реальних координат об’єктів, виділених безпосередньо на 3D образах.

1. Гребенніков С.Є. Геолого-математичне моделювання і географічні інформаційні системи в задачі моніторингу седиментаційних басейнів / Гребенніков С.Є., Лобасов О.П. // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. — Вип. 19. — С. 28–31.
2. Гребенніков С.Є. Моделювання будови осадових басейнів в середовищі ArcView / Гребенніков С.Є., Лобасов О.П. // Мінеральні ресурси України. — 2003. — № 4. — С. 37–43.
3. Долинський І. П. Засоби 3D візуалізації регіональних структурно-літологічних моделей нафтогазової геології / І. П. Долинський, О. П. Лобасов // Там само. — 2012. — № 2. — С. 20–22.

Надійшла до редакції 20.12.2012 р.