

МЕТОДИ ПОБУДОВИ 3D МОДЕЛЕЙ ГЕОЛОГІЧНИХ ТІЛ (НА ПРИКЛАДІ РОДОВИЩА САУЛЯК, ЗАКАРПАТТЯ)

**Ігор Бубняк¹, Сергій Ціхонь², Тетяна Ціхонь²,
Уляна Луцак², Микола Бігун¹**

¹Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013
e-mail: ibubniak@yahoo.com

²Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: serhii.tsikhon@lnu.edu.ua

Автори досліджують застосування сучасних комп'ютерних програм, які дають змогу ефективно опрацьовувати просторові й атрибутивні дані, що забезпечують аналіз і прогнозування рудних тіл на новому якісному рівні. У роботі аналізуються теоретичні й практичні аспекти 3D моделювання, зокрема використання програмних пакетів ArcGIS і Move для побудови геологічних карт, розрізів і тривимірних моделей. Особлива увага приділяється практичним аспектам створення цифрових геологічних карт, а також методам візуалізації та аналізу геоданих. Крім того, стаття містить інформацію про різні етапи створення 3D моделей, від первинного збору даних до їхньої обробки й інтерпретації. Значна увага приділяється організації та аналізу баз даних у програмах ArcGIS і Move, а також їхньому використанню для побудови комплексних 3D моделей. Автори підкреслюють важливість 3D моделювання в геології, особливо в контексті побудови тривимірних цифрових геологічних моделей, які можна використовувати для оцінювання запасів і перспективності родовищ. Робота підкреслює важливість інтеграції та аналізу різноманітних даних у геологічних дослідженнях і робить цінний внесок у розвиток методів 3D моделювання в геологічній науці. Для відображення практичних аспектів зі створення 3D моделей геологічних тіл обрали золоторудне родовище Сауляк, яке добре вивчено за допомогою підземних гірничих виробок. Побудовано модель родовища Сауляк у тривимірному просторі з розташуванням відповідних штольневих горизонтів. В ArcCatalog створено базу даних мінералів, мінеральних асоціацій родовища, установлених на рівні штолень № 1 і № 2. У результаті отримано тривимірні моделі рудних тіл родовища Сауляк, які можуть бути використані для візуалізації геологічної будови, підрахунку запасів, оцінювання перспективності глибоких горизонтів і флангів родовища.

Ключові слова: ArcGIS, ArcGeology1, програма Move, рудне тіло, родовище Сауляк.

Застосування сучасних комп'ютерних програм дає змогу ефективно опрацьовувати й подавати в доступній формі просторові (орієнтація рудних тіл, підземних гірничих виробок, розривних порушень тощо) та атрибутивні (наприклад, уміст золота, мінеральні асоціації, елементи залягання рудних тіл тощо) дані. Це дає змогу проаналізувати фактичний матеріал, прогнозувати нові рудні тіла й перспективні ділянки на якісно новому рівні.

Мета роботи – продемонструвати використання новітніх технологій під час вирішення геологічних завдань, а саме побудови 3D моделей геологічних об'єктів.

Головне завдання – побудувати 3D модель родовища Сауляк, використовуючи нові підходи й відповідне програмне забезпечення.

Як приклад ми обрали родовище Сауляк, яке розташоване в Рахівському рудному районі Закарпаття на північно-західній околиці с. Ділове. Родовище Сауляк уже понад 40 років є об'єктом активних геолого-мінералогічних досліджень. Попередніми дослідниками: проф. О.І. Матковський [2; 3], О.О. Нечепуренко [4], проф. І.В. Попівняко [1; 5], доц. В.Б. Степанов [2], доц. С.І. Ціхонь [1; 6] та інші – здійснили великий обсяг геологічних, тектонічних і мінерало-геохімічних досліджень, які опубліковані в десятках праць. Родовище належить до Мармароського кристалічного масиву, що складається з комплексу метаморфічних порід. Нижні товщі масиву метаморфізовані в умовах епідот-амфіболітової фації (білопотіцька світа), а верхні – в умовах кварц-епідот-амфіболітової та кварц-альбіт-мусковіт-хлоритової субфації фації зелених сланців (брдецьельська, діловецька, мегурська світи). У межах родовища зафіксовані давні відклади фундаменту (гнейси, двослюдяні сланці білопотіцької світи, PR2bp) і чохла (теригенно-карбонатні й карбонатні відклади довгорунської світи J3dv). Рудні тіла виявлено в породах брдецьельської світи [2; 3; 4].

За допомогою сучасних комп'ютерних програм можливо комплексне опрацювання наявного фактичного матеріалу.

Теоретичні аспекти 3D моделювання

Для побудови тривимірних моделей родовищ корисних копалин використовують різні програмні пакети.

У статті розглянуто дві програми ArcGis і Move з її модулями. ArcGis (ArcCatalog та ArcMap) використовували для побудови геологічної карти, розрізів, а Move – для побудови тривимірних моделей рудних тіл родовища Сауляк. ArcGIS дає змогу візуалізувати (представити у вигляді цифрової карти) великі обсяги статистичної інформації, що має географічну прив'язку. У середовищі створюються й редагуються карти всіх масштабів: від планів земельних ділянок до карт світу. Також у ArcGIS убудований широкий інструментарій аналізу просторової інформації. ArcGIS розглядає специфічні набори сіток даних, класи елементів разом з атрибутами елементів, підтипи та домени, придатні для різноманітних геологічних карт. Крім геології (літологія, контакти, розломи тощо) карти можуть включати перешарування й метаморфічні зміни, геологічні перетини й умовні позначення, наприклад, кореляційні колонки. Дизайн бази геоданих також можна використати й для польових робіт за допомогою програми ArcPad6.

Геологічні карти – це складні набори базових топографічних фактів, польових спостережень і суб'єктивної інтерпретації, вони є серед найскладніших картографічних продуктів. Широка автоматизація в науках про Землю, включаючи використання ГІС технологій, дає можливість здійснювати збір геологічних знань у вигляді карта-база даних. Крім картографічного зображення, такі карти-бази даних надають більшу багатогранність та аналітичні здатності, ніж це можливо з традиційними паперовими картами.

Ґрунтуючись на програмному продукті ESRI ArcGIS, американські дослідники розробили модуль ArcGeology (<http://www.usgs.gov/pubprod/maps.html>), який пропонує новий підхід під час створення *геологічної карти-бази даних (ГКБД)* і її використання. AG1 містить модель *геобаз* даних і супроводжувальні операційні процедури, що переважно стосуються просторових аспектів ГКБД [7].

Гармонізація різних ГКБД є необхідною для побудови цифрових геологічних карт даних, призначених для загального використання, особливо не геологами. Відповідно, AG1 використовує мінімалістичний підхід, зосереджений на просторових об'єктах карти, маючи на меті створення гармонії з використанням 1) спрощення та генералізації просторових класів елементів із застосуванням підтипів і доменів для необхідного опису й картографії та 2) відкладаючи селекцію/стандартизацію розширених атрибутів елементів до дискусії геологічної спільноти, яка вже почалася. Тобто AG1 буде розвиватися до AG2, AG3 за участі й підтримки геологічної картоуючої спільноти.

AG1 використовує ArcMap 9.1, ArcCatalog 9.1 і їх інструменти без потреби додаткового програмного забезпечення. Крім цього, AG1 функціонує з ArcPad 6 для польового картування (<http://www.usgs.gov/pubprod/maps.html>).

Тепер розглянемо *структуру геобаз даних* в ArcGeology1, *операційні концепції та метадані*.

Бази геоданих

На традиційній геологічній карті показано: головна просторова фігура – власне «карта», умовні позначення, один або декілька геологічних розрізів. Можуть бути також таблиці або графіки, координатні сітки, масштаби, підписи, логотипи тощо. Загальне оформлення може змінюватися від карти до карти. В ArcGeology1 зосередимо свою увагу на основній карті, легенді (умовних позначеннях), геологічних перетинах, кожний із яких розглядається паралельно зі своєю структурою [8]. У подальшому опис ГКБД здійснюється на підставі цієї роботи, включаючи таблиці.

База геоданих в ArcGeology1 організована в *набори даних елементів* (feature datasets), що відповідають трьом головним елементам, плюс четвертому перехресному для основи. **Геологія (Geology)** – займає основний зміст карти: полігони геологічних «одиниць» обмежені контактами (граніцями), розломами й іншими «структурними» лініями на картувальних горизонтах, плюс різноманіття «станцій» точкових даних. В AG1 *полігони розглядаються як похідні елементи*, побудовані за потребою з ліній і точок, із використанням **Feature to Polygon**. Такий підхід дає можливість досягти топологічних співвідношень, необхідних для геологічних карт, і допомагає під час редагування та копіювання карт.

Умовні позначення (LegendGraphic) – уміщує спеціальні діаграми, що пояснюють співвідношення на карті, яке відрізняється від колонкової легенди, що створюється безпосередньо в ArcMap. Прототипом умовного позначення є кореляційна діаграма, яка показує часові та просторові співвідношення геологічних одиниць, це також може бути включено в блок-діаграму самих одиниць, визначаючи співвідношення між фаціями й інтрузіями тощо.

Перетини (CrossSection\$) (де \$ – проста велика літера) – містить вертикальний геологічний профіль, розташований уздовж лінії перетину на основній геологічній карті. Кожний геологічний профіль створений як окрема геологічна карта в тій самій системі координат, що й геологічна карта, навіть якщо карта нарисована з двох наборів даних, що не є компланарними. Перетини можуть бути нарисовані на карті або вмонтовані в окремий фрейм (рамку) даних.

Основа (Basemap) – тут знаходяться векторні дані (горизонталі, контури озер, ріки, основні дороги тощо). Точкові дані, такі як тіки-координати (необхідні для фіксації розташування карти), можна отримати з простого текстового файлу.

ArcMap також можна використати для рисування інших точкових, лінійних і полігональних елементів.

Фотографії та растрові зображення не можуть бути включені в набори даних для елементів в ArcGis 9.1; вони зберігаються в папці, яка непрямо зв'язана з базою геоданих. Тим не менше ці зображення та растри можуть мати таку саму проекцію, як і базова карта.

У кожному наборі даних, крім базової (основи), три або чотири класи даних можуть існувати. Для набору даних «Геологія» є три основні класи – GeoFrame, що визначає обмеження досліджуваного району; GeoLines представляє всі лінійні елементи (контакти, розломи); GeoPolys відображає геологічні полігональні елементи (породи, перешарування), побудовані з GeoFrame та GeoLines. GeoPoints, є небов'язковим класом елементів, позаяк GeoLines уже вміщує всі геологічні «точкові дані» (точки спостереження, структурні заміри, місця відбору зразків). Паралельні класи даних із тими ж атрибутами належать до LegendGraphic і CrossSection\$ (таблиця 1).

Таблиця 1

Набори даних і класи елементів, використані в роботі [8]

	Класи об'єктів			
	Площинні дані (обов'язкові)	Лінійні дані (обов'язкові)	Точкові дані (додаткові)	Геологічні одиниці (похідні)
Geology Геологія	GeoFrame	GeoLines	GeoPoints	GeoPolys
LegendGraphic Умовні позначення	LGFrame (opt.)	LGLines	LGPoints	LGPOLys
CrossSection\$ Геологічні перетини	Xs\$Frame	Xs\$Lines	Xs\$Points	Xs\$Polys

Для кожного класу даних, окрім «Frame», існує група, що вміщує до 7 базових (основних) атрибутів. Ці атрибути подано в таблиці 2 стосовно набору даних Geology, у таблиці 3 показано приклади їх використання. Перші п'ять стосуються символізації елементів на карті.

Таблиця 2

Типові атрибути для класів даних [8]

Атрибут	Опис
Kind Вид (кодований текст, домен)	Найвищої категорії геологічні елементи, наприклад, порода, перешаровування, метаморфізм тощо. Декілька геологічних видів можуть бути представлені як GeoLines, так GeoPolys. Нові види можуть бути визначені й додані до головного домену за необхідності без створення додаткових класів даних.
TypeТип (кодований текст, підтип селектор)	Підкатегорія елементів, наприклад, одиниця, контакт, розлом, позиція вимірювання. Подібно до виду, типи можуть бути встановлені під час редагування головного списку підтипів, якщо необхідно. Якщо цей атрибут не використовується, список підтипів включає NA
Style Стиль (кодований текст, домен згідно Типу)	Більш визначене поняття для елемента в його типі, наприклад, звичайний контакт, скид перекритий, седиментаційне нашарування. Поняття стилю підтримується в головному домені, подібно до виду; крім того, це поняття також взаємодіє за допомогою ESRI Style Manager зі стандартними символами, які повинні поновлюватися водночас
Symbol Символ (текст, максимальна к-сть знаків – 10)	Мнемонічне зображення для картографічного представлення окремих елементів, особливо геологічна одиниця кодується для GeoPolys. Такі коди зазвичай не керуються Style, тому що вони змінюються в кожному проекті, на відміну від звичних стандартних Style для GeoLines і GeoPoints. Symbols можна використовувати й для інших класів елементів
Symval (Floating-Pt)	Числове значення стосовно картографічних деталей або контролю, наприклад, номер польових зразків, значення простягання тощо
ItemID (Long Int)	Лінк до додаткових табличних даних, що стосується елемента (рис.), який використовується під час аналізу та символізації.
Selected (Boolean)	Постійний контроль (True/False) під час вибору окремих елементів і їх участі в різних операціях, особливо побудові полігонів

У підсумку **Kind**, **Type**, **Style** є ретельно контрольованими полями, створеними через домени та підтипи ArcGis. Ці поля кодують систему організації знань (відомостей) knowledge organization system (KOS) модуля ArcGeology1 для бази геоданих геологічної карти загалом і повинні визначатися дуже ретельно. У деяких випадках ці три поля функціонують ієрархічно, а в інших незалежно. Зауважте, що показано лише декілька прикладів (таблиця 3).

Таблиця 3

Приклади атрибутів виду, типу та стилю [8]

Kind	Type		Type		Type (Deleted after construction)	
	Style		Style		Style (Deleted as above)	
	"Symbol", Symval		"Symbol", Symval		"Symbol", Symval	
	GeoPoints		GeoLines		GeoPolys	
Rock	Label		Contact		0	
	N/A		Contact-Certain		0	
	"Kd"		Contact-Approximate		"Kd"	
	"Jg"		Fault		"Jg"	
	Station		Normal Fault-Certain			
	Attitude		Thrust Fault-Buried			
	"N45E", 60		Rock			
Fossil		Dike				
"#2006-01"		"Td"				
RadioAge		Fold				
"2.1 mA", 2.1		Anticline				
		">10 mA", 10				
Alter	Label		Contact		0	
	N/A		Contact-Inferred		0	
	"argillic"		Fault		"argillic"	
"potassic"		Fault-Inferred		"potassic"		

Текст показаний у подвійних лапках для зрозумілості; ці лапки не включені в базу даних. Полям типу та стилю в GeoPolys (із GeoPoints) присвоюється значення 0, що легко знищується.

На відміну від вище описаного, Symbol, Symval, ItemID не обмежуються полями XXX, надаючи картографічні й описові деталі для окремих елементів за потребою. В ArcGeology1 з'єднання між елементами (об'єктами) і табличними даними здійснюється за допомогою поля з'єднань ItemID, залишаючи просторові й табличні аспекти вільними (рис. 1). Два ряди класів зв'язування включені: перший, просторовий, об'єктний лінк «in» до центрального Item таблиці, представлено в усіх базах геоданих модуля ArcGeology1.

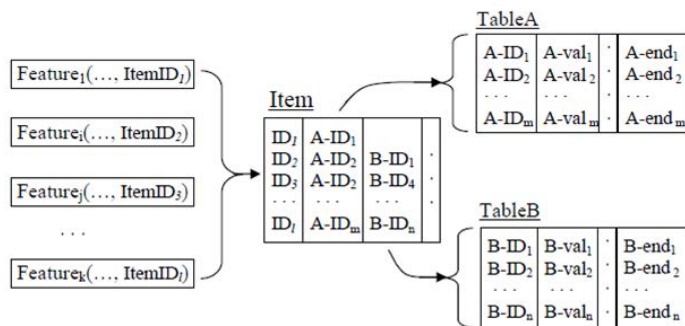


Рис. 1. Взаємне з'єднання між об'єктами й атрибутивними таблицями [8]

Двоступеневий підхід до об'єднання атрибутів надає велику гнучкість як у створенні описових таблиць (включаючи ключову структуру), так і в часові співвідношення (застосовуючи постійність категоризації). Кожний просторовий об'єкт з'єднаний через простий рядок у записі таблиці до будь-якої кількості описових таблиць, які можуть бути організовані в різній формі. Якщо декілька об'єктів належать до одного й того самого рядку запису, тоді з'являється груповий запис. На додаток під час повторення колонок у записі таблиці окремий об'єкт буде мати як індивідуальний, так і груповий опис (рис. 2).

```

Geology
GeoFrame (OID, Shape, Symbol, ItemID, Shape_Length, Shape_Area)
GeoPoints (OID, Shape, Kind, Type→, Style, Symbol, Symval, ItemID, Selected)
GeoLines (OID, Shape, Kind, Type→, Style, Symbol, Symval, ItemID, Selected, Shape_Length)
GeoPolys (OID, Shape, Kind, Symbol, Symval, ItemID, Shape_Length, Shape_Area) †

LegendGraphic
LGFrame (OID, Shape, Symbol, ItemID, Shape_Length, Shape_Area)
LGPoints (OID, Shape, Kind, Symbol, ItemID)
LGLines (OID, Shape, Kind, Symbol, ItemID, Shape_Length)
LGPolys (OID, Shape, Kind, Symbol, Symval, ItemID, Shape_Length, Shape_Area) †

CrossSectionA
XsAFrame (OID, Shape, Symbol, ItemID, Shape_Length, Shape_Area)
XsAPoints (OID, Shape, Kind, Type→, Style, Symbol, Symval, ItemID, Selected)
XsALines (OID, Shape, Kind, Type→, Style, Symbol, Symval, ItemID, Selected, Shape_Length)
XsAPolys (OID, Shape, Kind, Symbol, Symval, ItemID, Shape_Length, Shape_Area) †

CrossSectionB, etc.
XsBFrame (OID, Shape, Symbol, ItemID, Shape_Length, Shape_Area)
etc.

Basemap (No required contents. Convenient storage place for framework datasets.)
TicMarks (OID, Shape, Label)
StudyArea (OID, Shape, Symbol, ItemID)
topoquad-DLG
etc.
topoquad-DRG
imagery

```

Рис. 2. Схема просторових об'єктів [8]

Концепції операцій

На початку нового картувального проекту повинні бути створені база геоданих і карта. Схема бази геоданих програми ArcGeology1 під назвою ArcGeology1.xml використовують для заповнення порожньої бази геоданих нового проекту. Імпортуванням цієї схеми створюються всі набори даних для об'єктів, класи об'єктів і пов'язані з ними таблиці разом зі співвідношеннями класів серед них, заповнюються домени в програмі ArcGeology1. Водночас програма створює метадані для наборів даних для об'єктів і класи об'єктів створюються. Незважаючи на те що ця карта-база даних ще порожня, вона є повністю функціональною після того, як визначена система координат для наборів даних.

Супроводжуючий програму ArcGeology1 Документ (схематично показаний на рис. 2), що супроводжує програму ArcGeology1, створений із шаблону **ArcGeology1.mxt**, включає спеціальний стиль карти, стиль Геологічної служби США, а також стандартне розміщення шарів карти у вікні перегляду даних. Файли ієрархічних шарів (.lyr) також представлені для зручності: **geology.lyr** для даних фрейму геологічної карти й **LegendGraphic.lyr**

для фрейму умовних позначень. Спочатку з'являється геологічний перетин А на геологічній карті, накладений на рисунок основної карти, а потім це копіюється в окремих фрейм. Файл **CrossSection.lyr** також додається для зручності.

Організація показаних шарів – це один із можливих варіантів, що підтримує шаблон **ArcGeology1.mxt**. Сьогодні організація карти й картографія не є головним аспектом в AGI; але в майбутньому стандартизація також буде застосована як для спрощення створення програмних інструментів, так і для кращого розуміння карт неспеціалістами.

Зміст карти-бази геоданих в AGI монтується (створюється) за результатами польових робіт і/або за допомогою вже наявних паперових карт. У кожному випадку полігональні об'єкти карти (наприклад, GeoPlys) створюються з інших об'єктів (GeoFrame, GeoLines і додатково GeoPoints), використовуючи інструмент **Feature to Polygon** в ArcGis. За винятком GeoFrame (і паралельно класів об'єктів для інших наборів даних), форму полігонів неможливо редагувати в AGI.

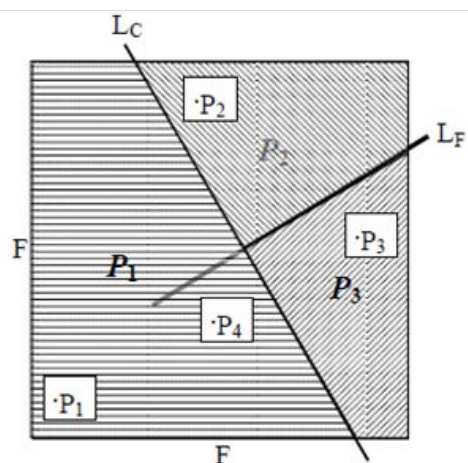


Рис. 3. Побудова полігонів із ліній і точок [8]

На рисунку 3 показано схематично побудову полігонів. GeoLines (L_x) і додатково GeoPoints (P_n) нарисовані, оцифровані або отримані іншим шляхом у GeoFrame (F). Комбінуючи ці елементи, інструмент програми ArcGis **Feature to Polygon** буде (створює) GeoPolys (P_n). Усі атрибути GeoPoints, включаючи запис з'єднання, автоматично копіюються до результуючого GeoPolys. Після того як створені GeoPolys, вони також можуть брати участь у створенні інших елементів. Побудова геологічної карти з тисяч ліній і точок займає декілька секунд.

Рутинна реконструкція GeoPolys особливо вигідна для польового картування, за якого границі геологічної карти з'являються протягом дня або тижня. У таких випадках можна зосередити увагу на окремих наборах об'єктів, що можуть бути швидко виділені. Вибраний атрибут у GeoLines і GeoPoints продовжує контроль вибору на рівні окремого об'єкта для цих цілей.

Як показано в таблиці 2, GeoPolys, GeoLines, GeoPoints є класами об'єктів, що можуть уміщувати багатократні види геології, а саме: породи, перешаровування, метаморфічні зміни тощо. Види розділяються в разі потреби із застосуванням **Definition Querys** ArcMap, що знаходиться у властивості шарів (layer Properties), даючи змогу полігональним об'єктам усіх видів зберігатися разом у GeoPolys.

Через те що семантику GeoLines і GeoPoints контролюють фіксовані домени й під-типи, побудова GeoPolys є простою. Тим не менше геолог стоїть перед різними виборами під час побудови карт. Деякі лінії (наприклад, контакти й наскрізні розломи) перетинають полігони, а інші (осі складок, розломи, що затухають) – не перетинають. Упевненість у типі й описі, навіть деколи в існуванні викликають питання. Багатократні підписи можуть з'явитися на великих полігонах (наприклад, P_1 і P_4 на рис. 3), навпаки, та ж точка підпису може бути присвоєна початковим полігонам. Інструмент **Feature to Polygon** автоматично вибирає перший підпис для атрибутів GeoPoly.

Метадані

Метадані в програмі AG1 для карти-бази геоданих організовані та зберігаються власне в базі геоданих, відображаючи загальну структуру трьох основних рівнів: бази геоданих (рівень проєкту), наборів даних для об'єктів (тематичний рівень), класів об'єктів (рівень об'єктів). Лише базові метадані створені на рівні бази геоданих, працюючи детальніше на рівні наборів даних і класів об'єктів.

Побудова 3D моделей родовища Сауляк

Для практичної реалізації побудови електронної геологічної карти після розробки структури бази геоданих необхідно здійснити низку операцій. Насамперед необхідно створити базу (топографічну) карту досліджуваного району – вибрати обмеження, і нанести всі необхідні топографічні елементи (рис. 4). Ці елементи включають населені пункти, ріки тощо. Обмеження (рамка) базової карти буде слугувати також для вирізування інших даних під час створення геологічної карти й моделей.

В ArcCatalog створюємо полігональний шейпфайл, що визначає обмеження досліджуваного району, присвоюючи йому відповідну систему координат. Цей полігональний шейпфайл надалі буде перетворений у лінійний під час побудови геологічної карти. У цьому самому фреймі створюємо низку лінійних шейпфайлів, що відображатимуть такі елементи (features) геологічної карти: насуви, розломи, геологічні межі й деякі інші елементи (рис. 5). Для присвоєння системи координат використовуємо команду **Import**. При цьому імпортуємо дані системи координат з уже створеної базової карти.

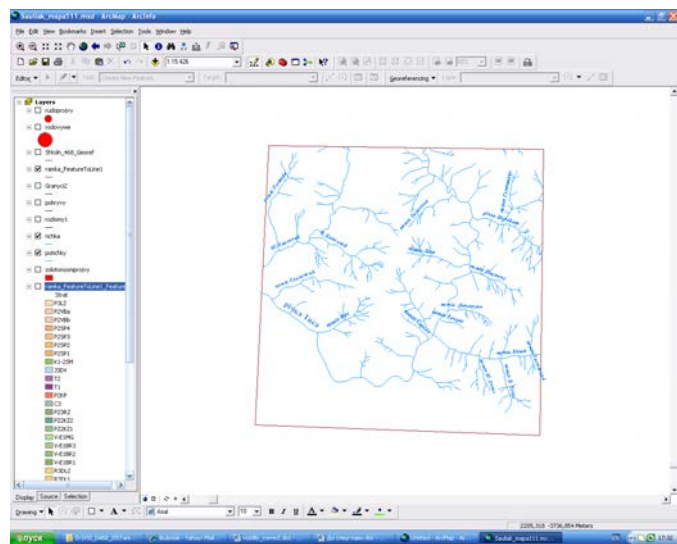


Рис. 4. Базова карта для побудов



Рис. 5. Лінійні елементи, що використовуються для побудови полігонів: насуви, розломи, геологічні межі й обмежувальна рамка

Наступний крок перетворення лінійних шейпфайлів у полігони (рис. 6). Для цього використовуємо інструмент програми ArcMap – Tools – Data Management Tools – Features- Features to Polygon.

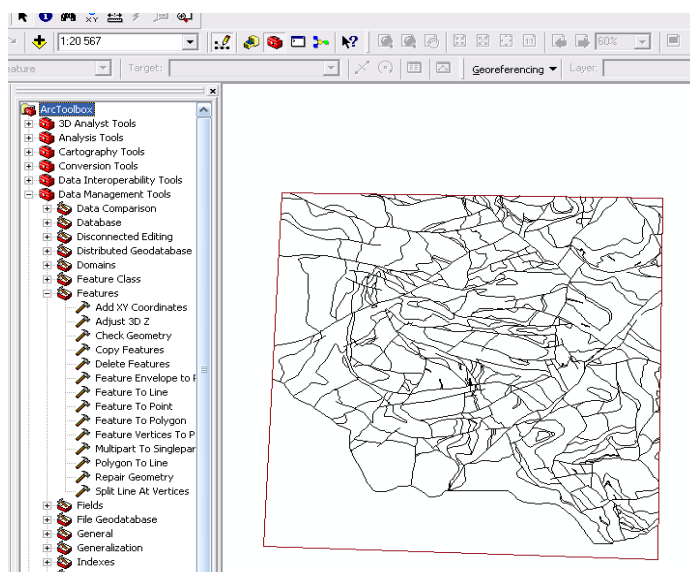


Рис. 6. Перетворення лінійних об'єктів у полігональні

Отримані полігональні об'єкти замальовуємо відповідно до прийнятих правил та інструкцій (рис. 7). Для цього створюємо атрибутивну таблицю, де кожному полігону присвоюємо відповідний вік, згідно з відсканованою картою, і відповідний символ.

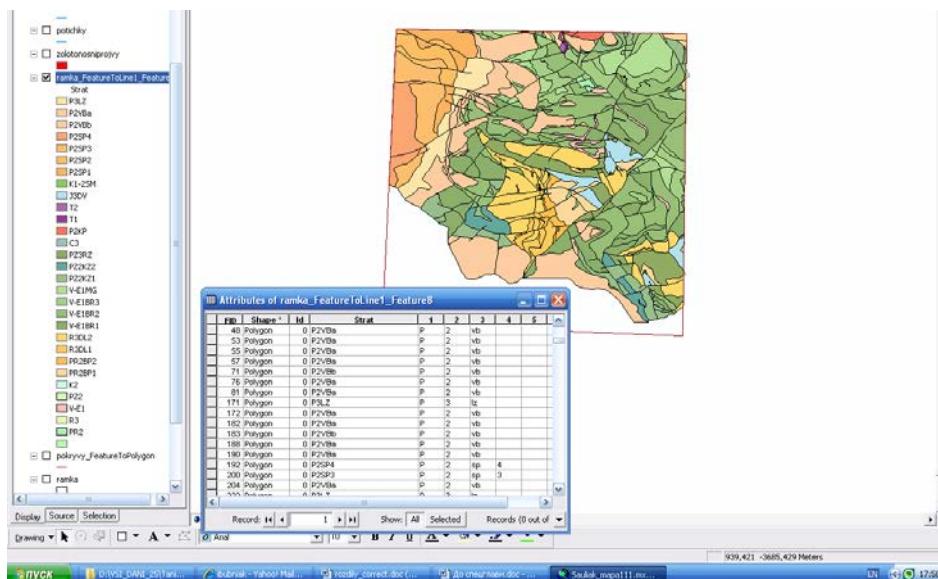


Рис. 7. Атрибутивна таблиця полігональних об'єктів геологічної карти

Підготовка до друку карти здійснюється у вікні Layout програми. Тут додаємо всі необхідні компоненти для карти: назву карти, напрям на північ, умовні позначення, числовий і лінійний масштаб. В окремих фреймах додаються стратиграфічна колонка й геологічний розріз (рис. 8).

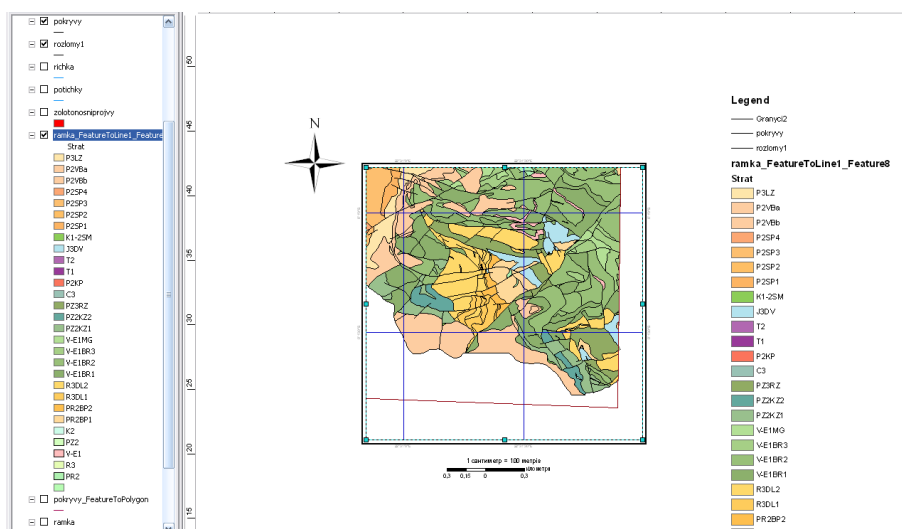


Рис. 8. Формування геологічної карти у вікні Layout

Результати, отримані в програмі ArcMap, експортуюмо в іншу програму – Move – для побудови тривимірних моделей (рис. 9).

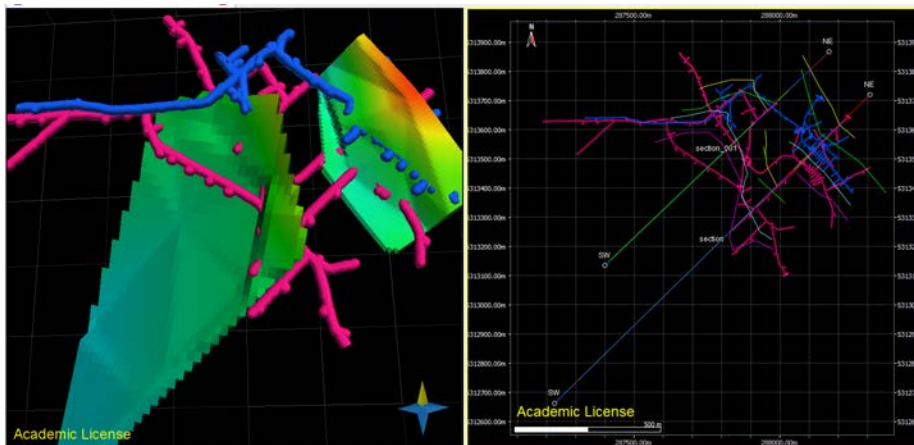


Рис. 9. Модель родовища Сауляк у тривимірному просторі й розташування штолень на карті

Найперше будуюмо 2,5 D поверхню родовища Сауляк. Для цього експортуюмо шейпфайли, що відображають рельєф.

Додаємо лінійні шейпфайли, що зображають штольні на карті, обов'язково враховуючи абсолютні висоти (рис. 10).

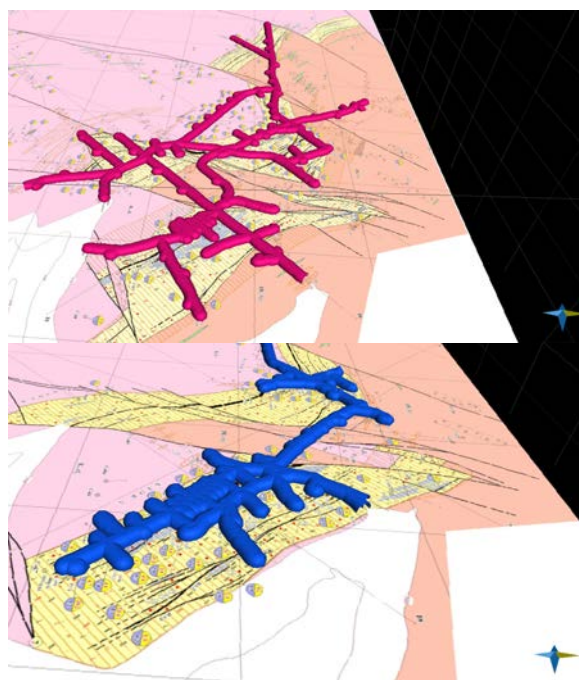


Рис. 10. Штольні й геологічні карти відповідних горизонтів

Додаємо геологічні карти та розрізи в тривимірному просторі (рис. 11).

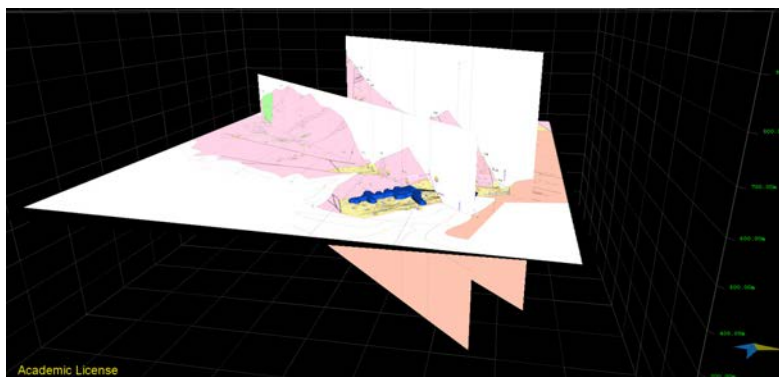


Рис. 11. Розрізи, додані до проекту

У результаті отримано тривимірні моделі рудного тіла (рис. 12 і 13).

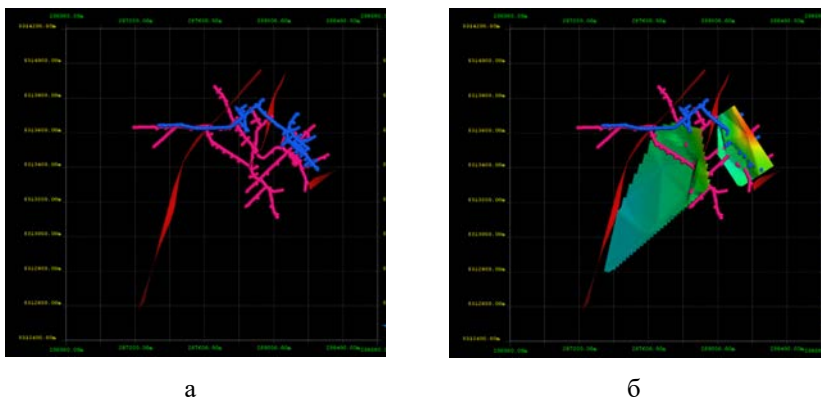


Рис. 12. Розташування штолень № 1 і № 2 (а) та рудного тіла зі штольнями (б)

Застосування 3D моделей у геології

Застосування програмних пакетів ArcGis і Move для обробки й аналізу геологічних даних, побудови моделей рудних тіл чи родовищ дасть змогу істотно пришвидшити процес моделювання, точність і якість моделей.

Найчастіше 3D моделювання використовують у нафтогазовій геології для побудови тривимірних цифрових геологічних моделей.

Тривимірна модель рудних тіл чи родовища може бути використана для підрахунку запасів, оцінювання перспективності глибоких горизонтів і флангів родовищ.

Отже, за допомогою пакету програм ArcGis і Move побудовано геологічну карту району родовища і створено тривимірну модель родовища Сауляк. Показано положення головного рудного тіла на рівні штольні № 1 і № 2. В ArcCatalog створено базу даних мінералів, мінеральних асоціацій родовища Сауляк на рівні штолень № 1 і № 2.

За поширенням мінералів із мінеральних асоціацій продуктивного комплексу й низки інших ознак можна оконтурювати перспективні ділянки на виявлення можливих рудних тіл чи серії невеликих за розмірами рудних тіл.

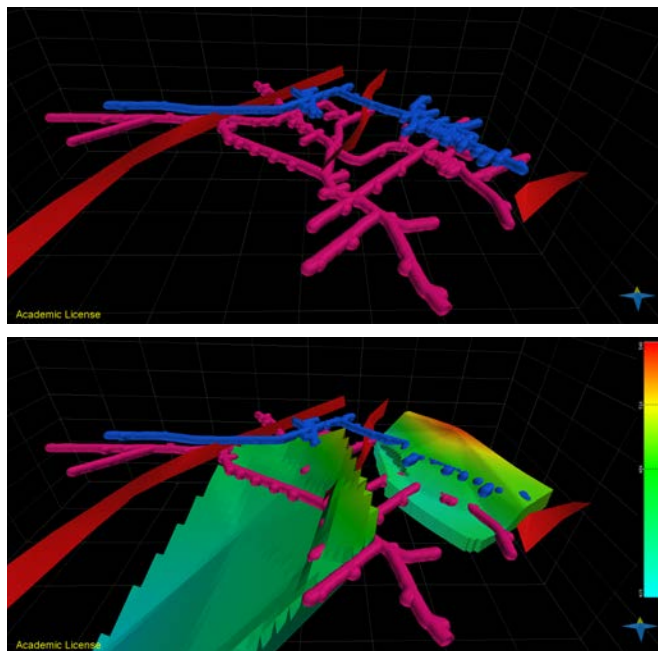


Рис. 13. Штольні з рудним тілом (кольором позначено глибину залягання зони зруденіння
 $\max=548$ м, $\min=300$ м)

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Просторова мінливість декрептометричних показників кварцу родовища Сауляк (Рахівський рудний район, Закарпаття) / А. Городечний, Т. Олійник, І. Попівняк, С. Ціхонь, В. Марусяк. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2010. № 24. С. 121–130.
2. Матковський О.І., Степанов В.Б. Критерії золотоносності доверхньопалеозойських метаморфічних порід Рахівського рудного району Закарпаття. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 1992. № 11. С. 121–127.
3. Матковський О.І. Родовища та рудопрояви золота Українських Карпат. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 1992. № 11. С. 96–120.
4. Нечепуренко О.О. Деякі особливості локалізації золотого зруденіння у Рахівському рудному районі. *Проблеми геологічної науки та освіти в Україні* : матеріали наукової конференції. Львів, 1995. С. 178–179.
5. Фізико-хімічні умови і стадійність формування золоторудного родовища Сауляк (Рахівський рудний район) / І. Попівняк, С. Ціхонь, Т. Олійник, А. Ніколенко, П. Ніколенко, В. Марусяк. *Мінералогічний збірник*. 2006. Вип. 56 (1–2). С. 76–97.
6. Ціхонь С.І. Фізико-хімічні умови розвитку та зональність гідротермального зруденіння Рахівського золоторудного району (за даними термобарогеохімічних та мінералогофізичних досліджень) : автореф. дис. ... канд. геол. наук. Львів, 2004.
7. Maps URL: <http://www.usgs.gov/pubprod/maps.html>.
8. Hastings J.T., Raines G.L., Moyer L.A. Proposal for an ArcGeology Version 1 A Geodatabase Design for Digital Geologic Maps using ArcGIS®. *In Digital Mapping Techniques '07-Workshop Proceedings: US Geological Survey Open-File Report*. 2008. Vol. 1385. P. 59–72.

REFERENCES

1. Horodechnyi, A., Oliinyk, T., Popivniak, I., Tsikhon, S., & Marusiak, V. (2010). Prostorova minlyvist dekrementrychnykh pokaznykiv kvartsu rodovyscha Sauliak (Rakhivskiyi rudnyi raion, Zakarpattia) [Spatial variability of decretometric parameters of quartz from the Sauliak deposit (Rakhiv ore district, Transcarpathia)]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna*, 24, pp. 121–130 [in Ukrainian].
2. Matkovskiyi, O.I., Stepanov, V.B. (1992). Kryterii zolotonosnosti doverkhnopaleozoiskykh metamorfichnykh porid Rakhivskoho rudnoho raionu Zakarpattia [Criteria of gold content of Upper Paleozoic metamorphic rocks of Rakhiv ore district of Transcarpathia]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna*, 11, pp. 121–127 [in Ukrainian].
3. Matkovskiyi, O.I. (1992). Rodovyscha ta rudoproivavy zolota Ukrainskykh Karpat [Gold deposits and ore occurrences in the Ukrainian Carpathians]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna*, 11, pp. 96–120 [in Ukrainian].
4. Nechepurenko, O.O. (1995). Deiaki osoblyvosti lokalizatsii zolotoho zrudennia u Rakhivskomu rudnomu raioni [Some features of gold mineralization localization in the Rakhiv ore district]. V materialakh naukovoi konferentsii «Problemy heolohichnoi nauky ta osvity v Ukraini», Lviv, pp. 178–179 [in Ukrainian].
5. Popivniak, I., Tsikhon, S., Oliinyk, T., Nikolenko, A., Nikolenko, P., & Marusiak, V. (2006). Fyzyko-khimichni umovy i stadiinist formuvannia zolotorudnoho rodovyscha Sauliak (Rakhivskiyi rudnyi raion) [Physical and chemical conditions and stages of formation of the Sauliak gold deposit (Rakhiv ore district)]. *Mineralohichnyi zbirnyk*, 56 (1–2), pp. 76–97 [in Ukrainian].
6. Tsikhon, S.I. (2004). Fyzyko-khimichni umovy rozvytku ta zonalnist hidrotermalnoho zrudennia Rakhivskoho zolotorudnoho raionu (za danymy termobaroeokhimichnykh ta mineraloho-fyzychnykh doslidzhen) [Physicochemical conditions of development and zonation of hydrothermal mineralization of the Rakhiv gold ore district (according to thermobarogeochemical and mineralogical-physical studies)]. [Avtoref. dys. kand. heol. nauk]. Lviv [in Ukrainian].
7. Maps. URL: <http://www.usgs.gov/pubprod/maps.html>
8. Hastings, J.T., Raines, G.L., & Moyer, L.A. (2008). Proposal for an ArcGeology Version 1 A Geodatabase Design for Digital Geologic Maps using ArcGIS®. In *Digital Mapping Techniques '07—Workshop Proceedings: US Geological Survey Open-File Report (Vol. 1385, pp. 59–72)*.

METHODS OF BUILDING 3D MODELS OF GEOLOGICAL BODIES (ON THE EXAMPLE OF THE SAULIAK DEPOSIT, TRANSCARPATHIA)

**Ihor Bubniak¹, Serhii Tsikhon², Tetiana Tsikhon²,
Uliana Lushchak², Mykola Bihun¹**

¹*Lviv Polytechnic National University,
Bandery Str., 12, Lviv, Ukraine, 79013
e-mail: ibubniak@yahoo.com*

²*Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: serhii.tsikhon@lnu.edu.ua*

The authors explore the use of modern computer programs that allow to effectively process spatial and attribute data that provide analysis and forecasting of ore bodies at a new qualitative level. The paper

analyzes the theoretical and practical aspects of 3D modeling, including the use of ArcGIS and Move software packages for to create geological maps and three-dimensional models. Particular attention is paid to practical aspects of creating digital geological maps, as well as methods of of visualization and analysis of geodata. The article also contains information on the various stages of 3D model creation, from primary data collection to data processing and interpretation. Considerable attention is paid to the organization and analysis of databases in ArcGIS and Move programs, as well as their use for building complex 3D models. The authors emphasize the importance of 3D modeling in geology, especially in the context of building three-dimensional digital geological models that can be used to estimate reserves and prospects. The paper emphasizes the importance of integrating and analyzing diverse data in geological research and provides a valuable contribution to the development of 3D modeling methods in geological science. To reflect the practical aspects of creating 3D models of geological bodies we chose the Sauliak deposit, which is well studied with the help of underground mining workings. A model of the Sauliak deposit in three dimensions and the the location of the relevant adit horizons. As a result, the following were obtained three-dimensional models of the ore bodies of the Sauliak deposit, which can be used to calculate reserves, assess the prospects of deep horizons and flanks of the deposit. The article shows that according to distribution of minerals from the mineral associations of the productive complex can be used to outline prospective areas to identify possible ore deposits.

Key words: ArcGIS, ArcGeology1, Move program, ore body, Sauliak deposit.