

**Олександр Сергійович Прокопенко<sup>1</sup>, Віталій Іванович Зацерковний<sup>2</sup>**<sup>1</sup>магістр, геолог, ТОВ «Геологічна сервісна компанія ГСК» (Київ, Україна)**E-mail:** alex.prokop2206@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6817-1696><sup>2</sup>доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Геоінформатики

Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Київ, Україна)

**E-mail:** vitalii.zatserkovnyi@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0003-5187-6125>**ОЦІНКА ЗАПАСІВ АНАДОЛЬСЬКОГО РОДОВИЩА РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ РУД НА ОСНОВІ КАРКАСНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Ця стаття присвячена оцінці запасів Анадольського родовища рідкісноземельних руд за допомогою каркасного моделювання з використанням програмного забезпечення Micromine. Проаналізовано геологічні дані, включаючи результати опробування свердловин та каналів, для створення тривимірної моделі рудного тіла. Оцінка запасів показала, що залучення сучасних технологій значно підвищує точність та ефективність геологорозвідувальних робіт. Отримані результати використовуються для геолого-економічної оцінки родовища, сприяючи подальшому ефективному видобутку.

**Ключові слова:** каркасна модель; рідкоземельні елементи; просторове моделювання; Анадольське родовище; Micromine.

Рис.: 4. Табл.: 1. Бібл.: 3.

**Актуальність теми дослідження** зумовлена необхідністю застосування передових технологій для точної оцінки запасів рідкісноземельних руд, що є критично важливим для подальшої ефективної розробки Анадольського родовища. В умовах зростаючої конкуренції та динамічних ринкових змін, галузь гірництва та геологорозвідки стикається з постійною потребою в оптимізації виробничих процесів. Сучасне програмне забезпечення, таке як Micromine, пропонує комплексні інструменти для каркасного моделювання, що дозволяє значно підвищити точність і достовірність оцінки запасів. Це дослідження має велике практичне значення для геологів та інженерів, які працюють у геологорозвідувальній та видобувній сфері, оскільки впровадження таких технологій сприяє підвищенню ефективності робіт і конкурентоспроможності підприємств.

**Постановка проблеми.** При підрахунку родовищ корисних копалин в Україні використовують аналогові методи, основною ціллю даної статті є залучення цифрових технологій в основі яких є просторове моделювання. Це дасть з більшою точністю оцінити ресурсну базу Анадольського родовища рідкісноземельних руд.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Багато наукових праць і досліджень було покладено в розробку сучасних інструментів, в основі яких лежить моделювання. Під час розвідки та розробки родовищ корисних копалин, також широко використовуються різні типи моделей. Сучасні програмні продукти, такі як: Micromine, Datamine, Leapfrog Geo, Geoteric, GOCAD, Petrel, Gemcom Surpac, Maptek Vulcan мають інтегровані інструменти для ручного, геостатистичного та умовного моделювання. В основу цих інструментів лягли наукові дослідження першопрохідців: George M. Matheron, André G. Journel, Michel David, Gustafson, L.B, Armstrong, M. та Dowd, P.A. Ці вчені відіграли ключову роль у вдосконаленні методів оцінки родовищ корисних копалин, що допомагає підвищити точність прогнозів та приймати більш обґрунтовані рішення в галузі гірничої промисловості.

Вивченням рідкоземельного зруденіння Азовського блоку Українського щита та зокрема Анадольського родовища займалися М. Козар [1], Г. Кульчицька, Д. Возняк [2] та інші.

**Мета статті.** Метою статті є оцінка запасів Анадольського родовища рідкісноземельних руд в основі якої лежить просторова модель. Побудова просторової моделі рудного тіла, більш чітко відображає реальну геоморфологію покладу, що своєю чергою дає можливість з кращою точністю оцінити запас корисної копали та її середній вміст.

**Виклад основного матеріалу.** Геологічне моделювання – це процес, за допомогою якого здійснюється реконструкція родовища корисних копалин, створюючи тривимірну віртуальну модель. Ця модель відображає як морфологічні характеристики, так і фізичні

властивості родовища. Використання тривимірного моделювання забезпечує загальне уявлення про родовище, а також дозволяє визначити його розмір, геометричну форму, умови залягання та просторовий розподіл мінералізації.

Розвиток гірничого підприємства дуже тривалий процес, який займає від років до десятиліть. За цей період підприємство проходить кілька етапів, від картування території до видобутку та виробництва. Одним з найскладніших етапів є геолого-економічна оцінка, для цього проводять величезну кількість досліджень різного роду, щоб визначити чи є доцільним освоєння цього родовища. Загалом ці дослідження проводяться різнопрофільними командами, які використовують геологічну модель для розробки технічних, економічних та екологічних проєктів. Ця модель також є основою для планування видобувних робіт, тому важливо, щоб вона була максимально точною та достовірною.

Геологічне моделювання є одним з обов'язкових та важливих етапів геолого-економічної оцінки родовищ корисних копалин [3].

Проте геологічна модель будується на основі обмежених даних вибірки, отриманих з керну свердловин. Такий підхід отримання даних є дороговартісним, тому геологорозвідувальна мережа свердловин планується з розрахунку співвідношення вартості до кількості отриманої корисної інформації в ході геологорозвідувальних робіт. Отже, загальний обсяг вибірки зазвичай дуже малий у порівнянні з розміром родовища, лише достатній для забезпечення представництва змінних, що досліджуються.

Для моделювання Анадольського родовища обрано метод каркасного моделювання. Каркасне моделювання, відоме також як метод паралельних розрізів, демонструє геометрію мінералізованої зони через серію вертикальних або горизонтальних розрізів, які систематично перетинають рудне тіло. Зазвичай вертикальні розрізи збігаються з геологорозвідувальними профілями, а горизонтальні створюються на певних абсолютних відмітках, використовуючи інтерпольовану інформацію з вертикальних розрізів.

Такі розрізи часто інтерпретуються вручну, із залученням програмного забезпечення. Під час цього процесу враховується накопичена інформація про геологічні особливості, геоморфологію, літологію, структуру та мінералізацію. Послідовне просторове поєднання цих секцій створює тривимірну модель рудного тіла.

Анадольське рудовмісне поле в металогенічному відношенні (Ce, La, Pr, Nd) приурочене до північно-східного флангу Криворізько-Павловської металогенічної зони.

Геологічна будова ділянки доволі проста. Тут розвинуті гранітоїди та мігматити анадольського комплексу з чисельними ксенолітами порід токмацького комплексу та темрюцької світи. Останні присутні іноді у вигляді лінз та смуг, шириною 50-250 м і протяжністю 350-1500 м. Породи анадольського комплексу (PR<sub>1an</sub>) розповсюджені по всій площі та вміщують інші комплекси порід, включаючи рудні тіла та метасоматити.

Породи анадольського комплексу вміщують рудне тіло та навколорудні метасоматити. Рудне тіло жильного типу, суттєво ортитового складу, яке простежено гірничими виробками поблизу із зоною агматитів (мілонітів). Протягання рудного тіла 310-325°, на флангах напрямом змінюється на субмеридіональний (330-350°). Падіння похиле – 21-49° на південь-захід [1].

Геологічна карта Анадольського родовища представлена на рис. 1.

Першим кроком при створенні просторової моделі родовища є аналіз та обробка всіх вхідних даних на основі яких була створена база даних в середовищі Micromine.

Дані, що використовувались для підрахунку запасів та внесені в базу даних:

- просторове розміщення 19 свердловин;
- просторове розміщення 20 канав та траншей;
- результати лабораторних досліджень – 375 значень (хімічне опробування) та 468 (спектральний аналіз);
- літологія свердловин і канав 195 зразків.

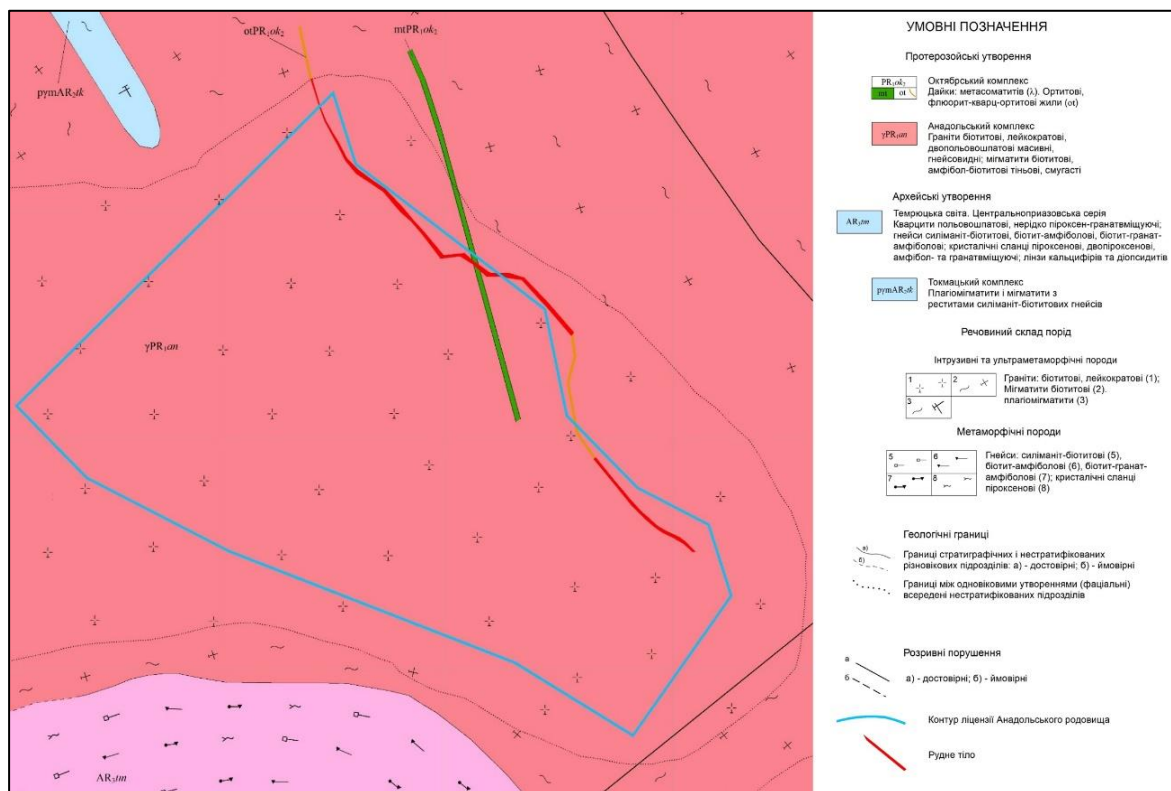


Рис. 1. Геологічна карта Анадольського родовища

Джерело: розроблено авторами.

Анадольське родовище розвідане 5 геологічними профілями, які розташовані в перекресток простягання рудного тіла. Відстань між профілями складає від 60 до 150 м. У кожному профілі було від 2 до 5 свердловин.

Перед оконтуренням було створено рудні композити по кожній свердловині та канаві. Для створення композитів було використано параметри кондицій:

1. Бортовий вміст суми оксидів РЗЕ в пробі, що включається до підрахунку запасів при оконтурюванні рудного покладу по потужності – 0,1 %;

2. Мінімальна потужність рудних покладів у перетинах, що включаються в контур підрахунку запасів – 1 м. При меншій 1 м потужності проводити перерахунок вмісту суми оксидів рідкоземельних елементів(РЗЕ) на 1 м потужності за умови, що метрвідсоток забезпечує вміст суми оксидів РЗЕ – 0,1 %;

3. Максимальна потужність прошарків пустих порід або некондиційних руд, що включаються до підрахунку запасів – 2,0 м.

У результаті інтерпретації було створено контури рудного тіла в кожному геолого-розвідувальному профілі, а також було створено додаткові контури в ділянках екстраполяції для замикання на них моделі, загальна кількість контурів 12 (рис. 2, рис. 3).

Наступним кроком є почергове об'єднання контурів у суцільну каркасну модель, яка є кінцевою ціллю каркасного моделювання. Створення каркасу відбувається на основі триангуляції точок у стрінгах контурів рудного тіла в сусідніх розрізах (рис. 4).

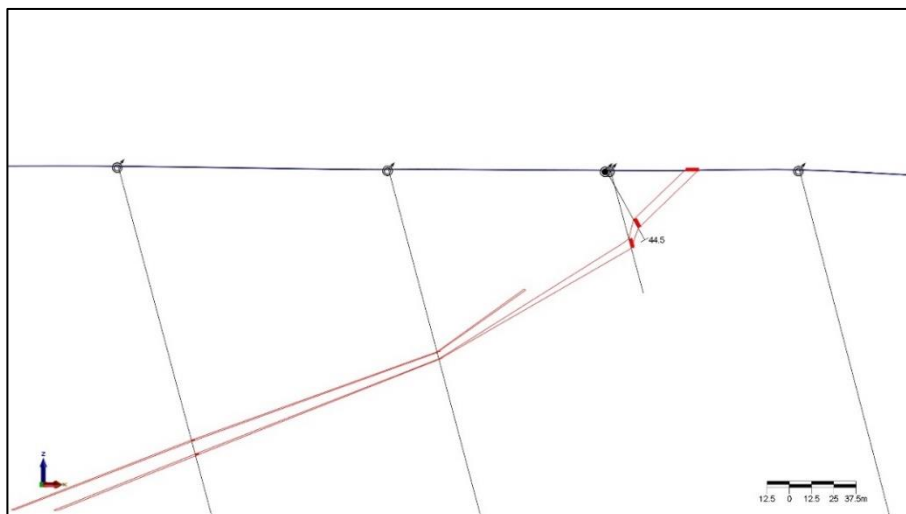


Рис. 2. Свердловини I профілю з композитами та контур рудного тіла  
Джерело: розроблено авторами.

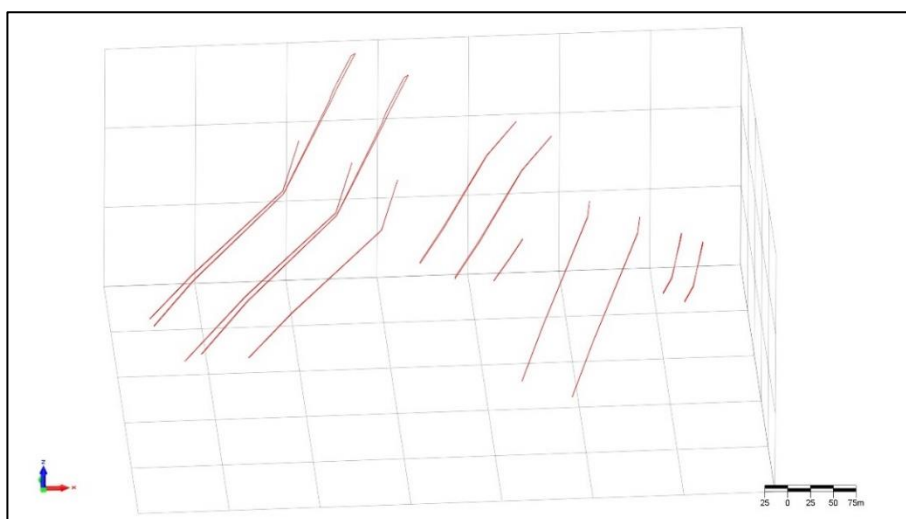


Рис. 3. Набір контурів рудного тіла для побудови моделі  
Джерело: розроблено авторами.

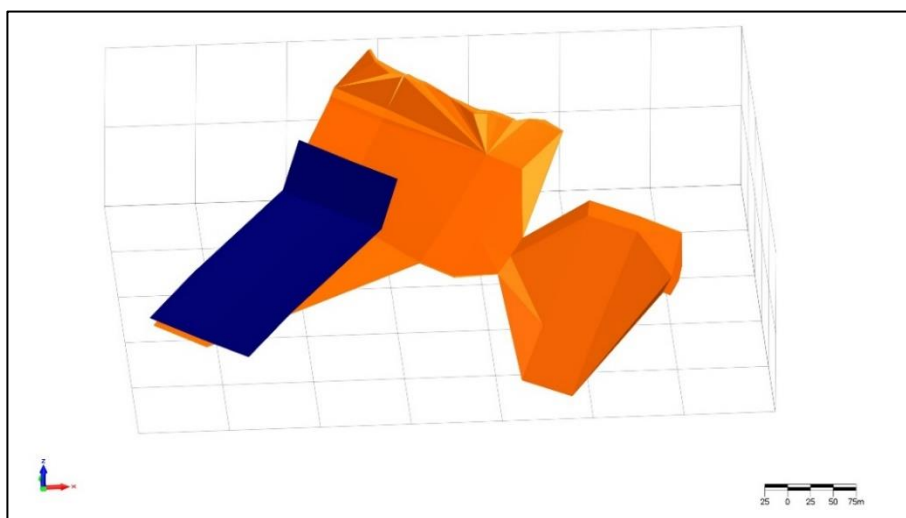


Рис. 4. Каркасна модель Анадольського родовища рідкоземельних руд  
Джерело: розроблено авторами.

У результаті об'єднання контурів у каркас, було створено 2 каркаси, які оконтурюють поклади рідкісноземельних елементів (табл. 1).

*Таблиця 1 – Результати підрахунку запасів по каркасній моделі Анадольського родовища рідкоземельних руд*

Рудне тіло, №	Запаси, т	Середній вміст оксидів РЗЕ, %	Запаси оксидів РЗЕ, т
1	555325,7	1,6	8750,1
2	72172,7	0,5	351,2
Разом	627498,4	1,45	9101,3

Джерело: розроблено авторами.

**Висновки.** У роботі вперше було підраховано запаси Анадольського родовища основаного на просторовій моделі. Залучення сучасних технологій у процес оцінки запасів прискорює та збільшує точність отриманих результатів. Використання просторових моделей, допомагає якісно відобразити геометрію рудних тіл, що є вкрай важливим, як для оцінки, так і для їх розробки в майбутньому. Результати отримані у ході підрахунку запасів на каркасній моделі побудованій автором є порівнянними з підрахунком традиційним способом і різниця складає 11 %, що є допустимо з урахуванням різниці в підходах, які лежать в основі цих методів. Результати цього дослідження були використані при детальній геолого-економічній оцінці Анадольського родовища рідкоземельних руд.

#### Список використаних джерел

1. Козар, М. І. Попередня геолого-економічна оцінка запасів та ресурсів Анадольського родовища рідкісних земель : звіт станом на 01.01.19 / М. І. Козар. – Київ : ТОВ «РМ МАЙНІНГЗ», 2019. – Фонди ДНВП «Геоінформ України». Інв. № 66174.
2. Про умови утворення Анадольської аланітової “дайки” (Східне Приазов'я) / Г. Кульчицька, Д. Возняк, Ю. Галабурда, В. Бельський, С. Остапенко // Мінералогічний збірник. – 2012. – № 62.
3. Variatska, N. Micromine Tools for Geological and Economic Assessment of Mineral Projects / N. Variatska // 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. DOI: <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.2022580150>.

#### References

1. Kozar, M. I. Preliminary geological and economic assessment of reserves and resources of the Anatolian deposit of rare earths (as of 01.01.19). RM MININGS LLC, 2019. Funds DNVP «Geoinform Ukraine». Inv. № 66174.
2. Kulchytska, H., et al. (2012). Formation conditions of the Anatolian allanite "dyke" (Eastern Azov Region). *Mineralogical Review*, 62(2), 141–147.
3. Variatska, N. (2022). Micromine Tools for Geological and Economic Assessment of Mineral Projects. *16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. (Vol. 2022, pp. 1-5). <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.2022580150>.

Отримано 22.05.2024

UDC 504.062.2:553.4.04:622.34(477.7)

#### **Oleksandr Prokopenko<sup>1</sup>, Vitalii Zatserkovnyi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Master's Degree, Geologist, Geological Service Company LLC (Kyiv, Ukraine)  
E-mail: [alex.prokop2206@gmail.com](mailto:alex.prokop2206@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6817-1696>

<sup>2</sup> Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Geoinformatics  
Taras Shevchenko National University of Kyiv (Kyiv, Ukraine)  
E-mail: [vitalii.zatserkovnyi@gmail.com](mailto:vitalii.zatserkovnyi@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5187-6125>

### **RESERVES CALCULATION OF THE ANADOL RARE EARTH ORE DEPOSIT BASED ON WIREFRAME MODELING**

*The necessity of applying advanced technologies for the accurate estimation of rare earth ore reserves is critically important for the further efficient development of the Anadol deposit. In the face of increasing competition and dynamic market changes, the mining and geological exploration industry faces a constant need to optimize production processes.*

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*Modern software, such as Micromine, offers comprehensive tools for wireframe modeling, significantly enhancing the accuracy and reliability of reserve estimates. This research holds great practical significance for geologists and engineers working in the exploration and mining sector, as the implementation of such technologies improves operational efficiency and enterprise competitiveness.*

*In Ukraine, the calculation of mineral deposits typically employs analog methods. The primary aim of this article is to introduce digital technologies based on spatial modeling. This approach will allow for a more precise assessment of the resource base of the Anadol rare earth deposit.*

*The objective of this work is to estimate the reserves of the Anadol rare earth deposit using wireframe modeling methodology. The construction of a spatial model of the ore body more accurately reflects the actual geomorphology of the deposit, which in turn enables a more precise estimation of the mineral reserves and their average content.*

*Geological data were analyzed, and a database was created containing all available geological information, including the results of borehole and trench sampling, lithological descriptions of rocks, and mineralogical and geochemical studies of ore and surrounding rocks. This data was used to create 3D model of the ore body.*

*Using Micromine software and the manual (wireframe modeling) methodology, a spatial model of the ore deposits was created, and their reserves were estimated.*

*For the first time, the reserves of the Anadol deposit were calculated based on a 3D model. The use of modern technologies in the reserve estimation process accelerates and increases the accuracy of the results obtained. The application of 3D models helps to qualitatively represent the geometry of ore bodies, which is crucial for both the estimation and future development of the deposits. The results of this study were used in the detailed geological and economic evaluation of the Anadol rare earth deposit.*

**Keywords:** wireframe model; rare earth elements; spatial modeling; Anadol deposit; Micromine.

*Fig.: 4. Table: 1. References: 3.*