

А.А. Шоломицький, д.т.н., проф.
А.Є. Селезньов, асист.
Донецький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОДОВИЩ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОСТАТИСТИКИ

У статті виконано дослідження золоторудного родовища геостатистичними методами. Створено програмне забезпечення для побудови блочної моделі і її тривимірної візуалізації.

Вступ. У надрах України існує велика кількість різних гірських порід, придатних для промислового видобутку. Більшість існуючих родовищ корисних копалин видобуваються на основі даних, отриманих у результаті робіт з геологічного вивчення надр, проведених ще в 60–80-тих роках минулого століття. У результаті цього багато родовищ корисних копалин майже повністю видобуті, або їхня подальша експлуатація є економічно не вигідною й безперспективною.

Основна частина. Згідно з Кодексом України "Про надра" [1] роботи з геологічного вивчення надр проводяться й організуються спеціально вповноваженим центральним органом виконавчої влади з геологічного вивчення й забезпеченню раціонального використання надр на основі спеціальних комплексних або цільових програм і фінансуються з державного бюджету України, за рахунок надходжень від гірничих підприємств за виконані раніше геологорозвідувальні роботи, які фінансувалися з державного бюджету. Але через те, що з 2002 року гірничі підприємства тимчасово звільнені від сплати даного платежу; фактично роботи з геологічного вивчення надр носять локальний характер і не дозволяють виявити й включити в Державний фонд родовищ корисних копалин для подальшої промислової розробки нові перспективні родовища [2].

Тому багато гірничих підприємств змушені, крім дорожчої ліцензії на видобуток корисних копалин (від 1 млн. грн.), отримувати додаткову ліцензію на геологічне вивчення корисних копалин для розвідки нових родовищ. При цьому, з огляду на високу вартість комплексу гірничо-бурових і експлуатаційних робіт, гірничі підприємства (як приватної, так і державної форм власності) прагнуть залучити іноземні інвестиції у фінансування розробки нового родовища з метою компенсації витрат на його розвідку.

Але для залучення іноземних інвестицій інвестор повинен бути впевнений в ефективності вкладення своїх коштів на розробку нового родовища, тобто одержання прибутку. Для цього в 1989 році Австралійський Об'єднаний Комітет з Рудних Запасів (Joint Ore Reserves Committee ('JORC')) опублікував "JORC Code", у який входили рекомендації з класифікації й складання публічної звітності по рудних запасах. На основі цієї публікації створена в 1994 році Рада Гірничих і Металургійних Організацій (the Council of Mining and Metallurgical Institutions ('CMMI')), згодом перейменована в Combined Reserves International Reporting Standards Committee ('CRIRSCO'), затвердила в 1997 році Міжнародний шаблон звітності для опублікування результатів розвідки родовищ корисних копалин, його мінеральних ресурсів і мінеральних запасів. Згідно із стандартом мінеральні ресурси діляться на номінальні й підраховані, а мінеральні запаси – на можливі й оцінені. Складений згідно з міжнародним шаблоном звіт є "візитною карткою" родовища, і його публікація дозволяє гірничому підприємству розраховувати на реальні іноземні інвестиції.

Основна проблема для впровадження даної форми звітності на гірничих підприємствах України полягає в тому, що підрахунок мінеральних запасів повинен виконуватися з урахуванням сучасних методів кількісної локальної екстра- та інтерполяції даних випробування. Одним з таких методів є геостатистика, що дозволяє підвищити ефективність геологорозвідувальних робіт і знизити витрати на гірничо-бурові роботи.

Геостатистика дозволяє одержати формальну модель гірських порід для родовища. Таке подання моделі дуже корисне, але не має високих когнітивних властивостей, і не дає нових гіпотез і знань про геометризацию родовища.

Когнітивність – термін, що позначає здатність до розумового сприйняття й переробки зовнішньої інформації [3]. Отже когнітивність інтерактивної блочної, або вексельної моделі – якісна властивість сприйняття й візуалізації, як процесу, так і результату рішення (екстра- та інтерполяції).

Таким чином, більш високими когнітивними властивостями володіє тривимірне подання моделі гірських порід з використанням потужних відкритих графічних бібліотек, таких як OpenGL або Direct3D. Дані графічні бібліотеки в сукупності з математичними алгоритмами аналізу просторових даних дозволяють не тільки представити в графічному вигляді модель гірських порід, але й виконати безліч досліджень, як за характером їхнього розташування в просторі, так і за характером розташування їхніх якісних властивостей у тому ж просторі, виконати їх геометризацию. Крім того, дані графічні бібліотеки, зокрема OpenGL, дозволяють створити не тільки статичне зображення моделі родовища, а її

інтерактивну інтерпретацію, що робить використання моделі гнучким і універсальним засобом аналізу даних, отриманих на основі геостатистичних розрахунків.

Тому автори вважають, що створення програмних засобів, що поєднують можливості геостатистичного методу дослідження родовища з когнітивними методами візуалізації розподілу властивостей корисної копалини є важливим і актуальним завданням для гірничодобувної промисловості України.

Аналіз даних буріння й оцінка запасів корисних копалин за допомогою геостатистичного методу припускає виконання ряду послідовних математичних операцій над сукупністю даних, таких як побудова гістограм, оцінка основних статистик, розрахунок варіограм, крігінг, умовне моделювання [4, 5, 6].

Розглянемо оцінку запасів корисних копалин з використанням геостатистики на прикладі золоторудного родовища "Сонячне" (кварцова жила).

Основні гірничо-бурові роботи на родовищі були проведені у вересні-жовтні 1999 р. Головною корисною копалиною є метал Au (золото). Площа розвідки становить 35 га, довжина в напрямку Схід–Захід – 482 м, у напрямку Північ–Південь – 720 м. Пробурено 94 свердловини, у результаті випробовувань яких отримано 729 проб із середньою довжиною 2 метри.

Сукупність даних кількісного вмісту (г/т) золота в кожній пробі була оброблена й проаналізована за допомогою математичної статистики (рис. 1–3).

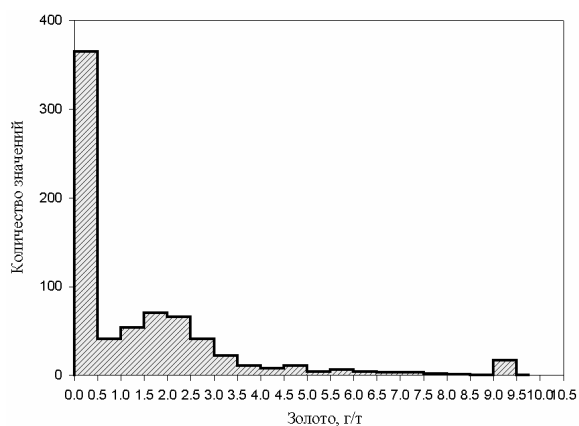


Рис. 1. Гістограма вмістів золота по кварцовій жилі (гранична величина – 9,36 г/т) при ширині класу 0,5 г/т

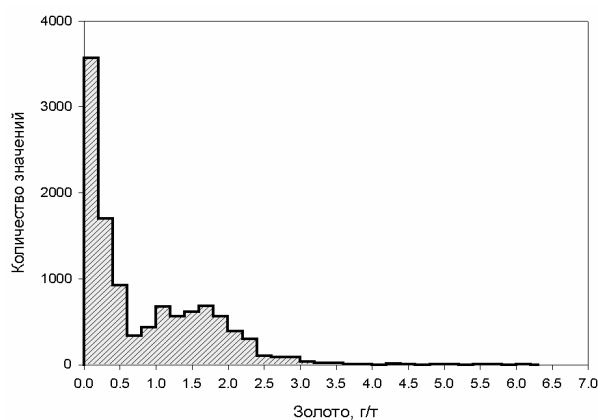


Рис. 2. Гістограма вмістів золота по блочній моделі (20x20x20м) (звичайний крігінг) при ширині класу 0,25 г/т

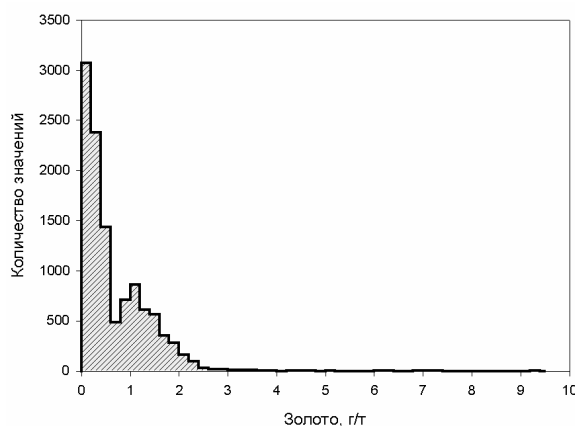


Рис. 3. Гістограма вмістів золота по блочній моделі (20x20x20м) (умовне моделювання) при ширині класу 0,2 г/т

Параметри процедури звичайного крігінгу й умовного моделювання для оцінки значень блокової моделі були отримані після розрахунку варіограм, як у двовимірному, так і в тривимірному просторі (рис. 4–6) і крос-перевірки отриманої варіограмної моделі.

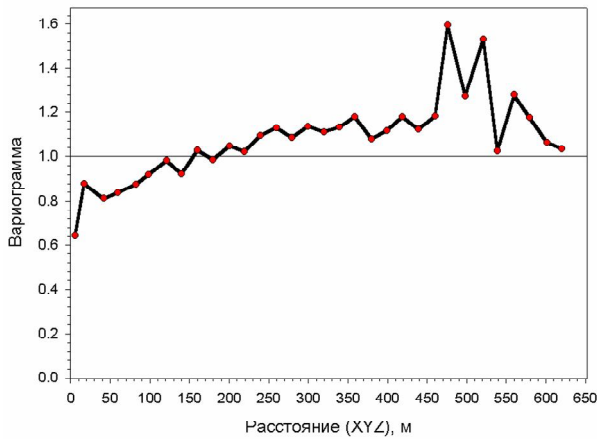


Рис. 4. Ізотропна варіограма для нормалізованих вмістів по кварцовій жилі з урахуванням граничного значення $9,36 \text{ г/т}$ у просторі XYZ (ефект самородків – $0,63 \text{ (г/т)}^2$, зона впливу – 200 м)

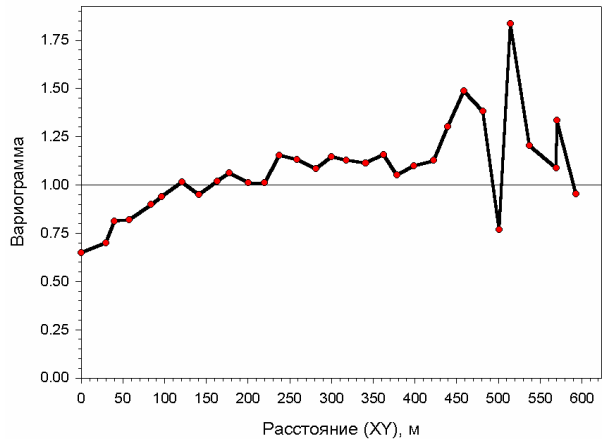


Рис. 5. Ізотропна варіограма для нормалізованих вмістів по кварцовій жилі з урахуванням граничного значення $9,36 \text{ г/т}$ у площині XY (ефект самородків – $0,69 \text{ (г/т)}^2$, зона впливу – 210 м)

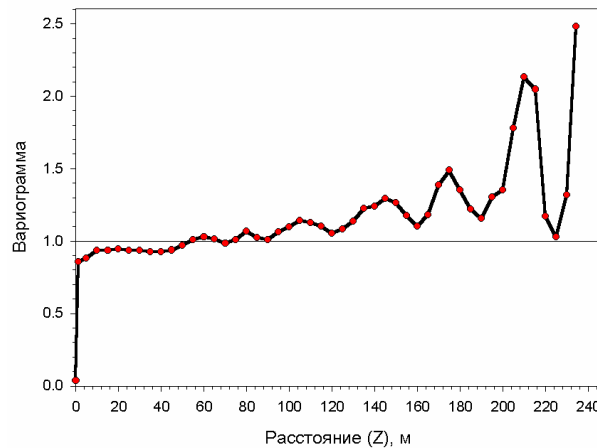


Рис. 6. Ізотропна варіограма для нормалізованих вмістів по кварцовій жилі з урахуванням граничного значення $9,36 \text{ г/т}$ уздовж осі Z (ефект самородків – $0,1 \text{ (г/т)}^2$, зона впливу – 120 м)

Розраховані моделі досить близькі одна до одної, про що свідчать як гістограми вмістів, так і горизонтальні площини перетину моделі (рис. 7–10).

Загальні запаси золота по цим двом блочним моделям склали 18,3 тонн (звичайний крігінг) і 14,67 тонн (умовне моделювання) відповідно.

На рис. 11 наведено інтерфейс розробленої програми з тривимірною візуалізацією отриманої воксельної моделі засобами відкритої графічної бібліотеки OpenGL. З рисунка видно, що родовище структуроване, тобто є можливість за результатами геостатистичних розрахунків виконати геометризацию окремих груп якісних властивостей гірських порід.

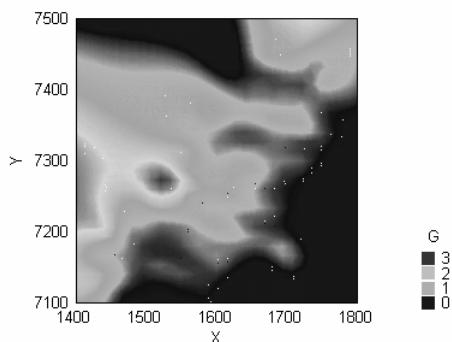


Рис. 7. Горизонтальний перетин блочної

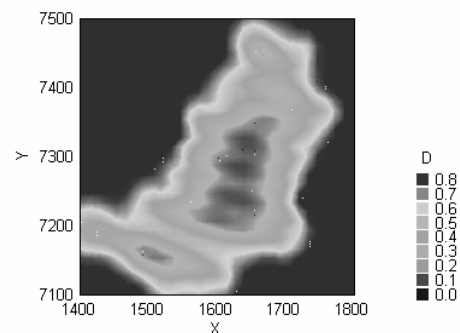
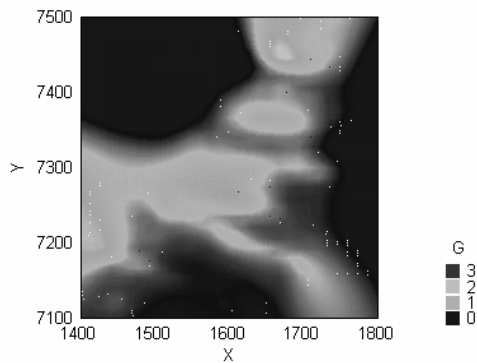


Рис. 8. Горизонтальний перетин блочної моделі

моделі (звичайний крігінг) (золото, г/т)



(звичайний крігінг) (дисперсія оцінки)

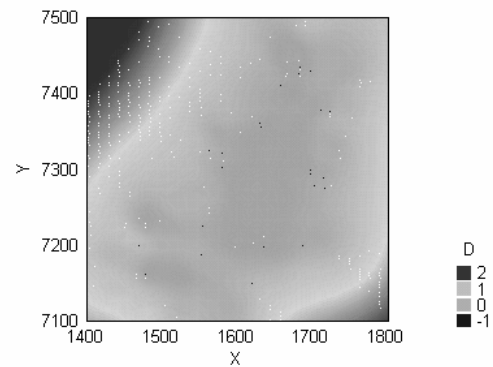


Рис. 9. Горизонтальний перетин блочної моделі (умовне моделювання) (золото, г/т)

Рис. 10. Горизонтальний перетин блочної моделі (умовне моделювання) (дисперсія оцінки)

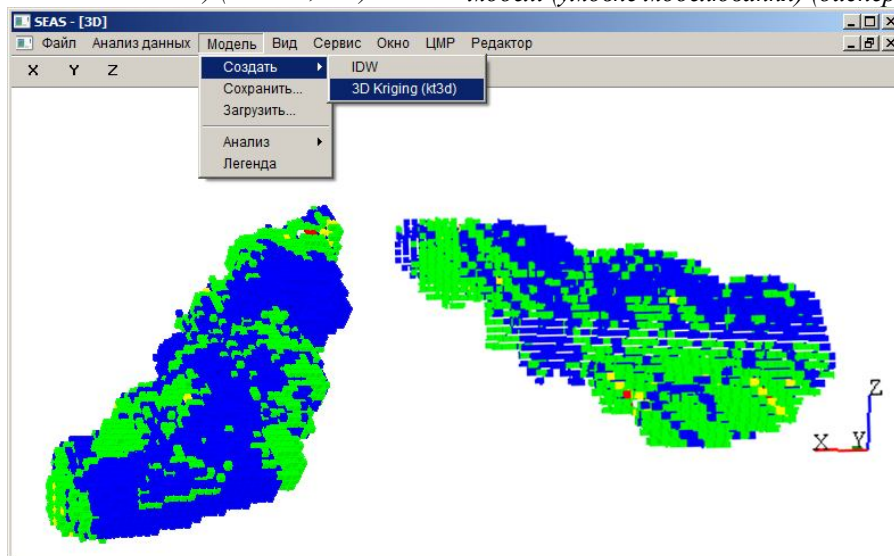


Рис. 11. Інтерфейс програми із представленої в 3D-вікні воксельною моделлю (звичайний крігінг) з розмірами блока 20×20×20 м (світлі вокселі, золото: 1–3 г/т; темні вокселі, золото: 0–1 г/т). На рисунку воксельна модель представлена у двох ракурсах

Висновок. Цей аналіз було виконано за допомогою програмного забезпечення, створеного на кафедрі геоінформатики та геодезії ДонНТУ, яке дозволяє на основі даних випробування, використовуючи математичний апарат геостатистики створити й інтерактивно візуалізувати воксельну модель родовища. При цьому дана модель відповідає вимогам 'CRIRSCO' і може використовуватись для залучення іноземних інвестицій. Модель має високі когнітивні властивості, які дозволяють виконати якісну геометризацію окремих рудних зон.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кодекс України "Про надра". Відомості Верховної Ради (ВВР). — К., 1994. — № 36. — 340 с.
2. Гірничий Закон України. Відомості Верховної Ради (ВВР). — К., 1999. — № 50. — С. 433.
3. *Зенкин А.А.* Когнітивна комп'ютерна графіка / Під ред. Д.А. Поспелова. — М.: Наука, 1991. — 192 с.
4. *Капутін Ю.Е.* Гірські комп'ютерні технології й геостатистика. — М.: Надра, 2002. — 424 с.
5. *Давід М.* Геостатистичні методи при оцінці запасів руд. — М.: Надра, 1980. — 360 с.
6. *Матерон Ж.* Основи прикладної геостатистики. — М.: Надра, 1968. — 365 с.
7. *Давиденко Е.В.* Воксельна технологія моделювання об'єктів // Графіка й мультимедіа. — 2002. — № 3. — С.12–15.
8. *Эйнджел Э.* Интерактивная компьютерная графика. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. — 471 с.
9. *Deutsch C.V., Journel A.G.* GSLI — Geostatistical Software Library. — New York.: Oxford University Press, 1992. — 312 p.

ШОЛОМИЦЬКИЙ Андрій Аркадійович – доктор технічних наук, професор кафедри геоінформатики і геодезії Донецького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- фотограмметрія;
- маркшейдерська справа;
- ГІС-технології.

Тел.: (062)-301-07-81.

E-mail: sholomitskij@gis.dgtu.donetsk.ua

СЕЛЕЗНЬОВ Андрій Євгенович – асистент кафедри геоінформатики і геодезії Донецького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- моделювання родовищ;
- геостатистика;
- комп'ютерна графіка.

Тел.: (062)-301-07-81.

E-mail: andrew39@mail.ru

Шоломицький А.А. , Селезнёв А.Є. Моделирование властивостей родовищ із використанням геостатистики

Шоломицький А.А. , Селезнёв А.Є. Моделирование свойств месторождений с использованием геостатистики

Sholomitskij A.A. , Selezn'ov A.E. The modeling of properties of deposits using the geostatistics

УДК 622.1:679.85+622.27+679.8

Моделирование свойств месторождений с использованием геостатистики / А.А. Шоломицький, А.Є. Селезнёв

В статье выполнено исследование золоторудного месторождения геостатистическими методами. Создано программное обеспечение для построения блочной модели и её трехмерной визуализации.

УДК 622.1:679.85+622.27+679.8

The modeling of properties of deposits using the geostatistics / A.A. Sholomitskij, A.E. Selezn'ov

The research of the golden deposit with geostatistics' methods was executed in the article. The softwear for creating block model and its 3-D visualization was created.