



Державна служба
геології та надр
України



ДКЗ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут геологічних наук Національної академії наук України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Львівський національний університет імені Івана Франка

2024 

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

IX міжнародна науково-практична конференція

НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ. ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ

7-11 жовтня 2024, м. Львів, Україна

IX international scientific-practical conference

SUBSOIL USE IN UKRAINE. PROSPECTS FOR INVESTMENT

7-11 october 2024, Lviv, Ukraine

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПЛЕКСНИХ РОДОВИЩ НА ПРИКЛАДІ КАПІТАНСЬКОГО РОДОВИЩА НІКЕЛЬ ХРОМІТОВИХ РУД

Фалькович О.Л.¹, к. геол. н., falkovich.oleksii@gmail.com,

Настенко А.О.², аспірант, stasya0063@gmail.com,

1 – ТОВ «Геологічна сервісна компанія, ГСК», Київ, Україна,

2 – Харківський Національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна

На прикладі Капітанського родовища розглянуто проблеми та принади комплексного освоєння рудних родовищ корисних копалин. Для видобування Капітанського родовища пропонуються два види основної корисної копалини. Перша це силікатний нікель який в основному розташований в нонтронітових корах вивітрювання, другий це хромітові руди який зосереджений в гіпербазитах однойменного масиву. Освоєння родовища припускає два варіанти розкриття та видобутку, а також в наявності два технологічних типи руд. Це все ускладнює процес освоєння об'єкту, але комплексне освоєння значно збільшує економічний ефект від видобування руд. І це не поодинокий приклад складності наших українських надр. вигідніше відпрацювати відразу кору, а потім відпрацювати кристалічні породи глибше; або є сенс забрати кору після відпрацювання рудника в кристалічних породах. Наступна проблема яку необхідно вирішувати при відпрацюванні комплексних руд з різними вміщуючими породами це різні технологічні типи збагачуваності руд. Як правило це передбачає будівництва окремих технологічних ліній збагачування.

Нами було розглянуто декілька варіантів отримання кінцевої продукції та отримання відповідного економічного ефекту. Так була побудована модель Капітанського родовища яка враховує видобування всіх корисних компонентів з єдиної рудної маси. вартість ресурсної бази комплексних родовищ в надрах прямо пропорційно залежить від комплексного освоєння та отримання кінцевої продукції максимальної переробки.

PECULIARITIES OF EXPLOITATION OF COMPLEX DEPOSITS ON THE EXAMPLE OF THE KAPITANSKY DEPOSIT OF NICKEL CHROMITE ORES

Falkovich O.¹, Cand. Sci. (Geol.), falkovich.oleksii@gmail.com,

Nastenko A.², postgraduate, stasya0063@gmail.com,

1 – Geological Service Company LLC, Kyiv, Ukraine,

2 – Kharkov National University named after V. N. Karazin, Kharkov, Ukraine

On the example of the Kapitansky deposit, the problems and benefits of complex development of ore deposits of minerals are considered. Two types of the main mineral are proposed for the extraction of the Kapitansky deposit. The first is silicate nickel, which is mainly located in nontronitic crusts of weathering, the second is chromite ores, which is concentrated in hyperbasite of the massif of the same name. The development of the deposit involves two options for opening and extraction, as well as the availability of two technological types of ores. All this complicates the process of object development, but complex development significantly increases the economic effect of ore extraction. And this is not an isolated example of the complexity of our Ukrainian bowels. it is more profitable to work the crust immediately, and then to work the crystalline rocks deeper; or it makes sense to take the bark after working out the mine in crystalline rocks. The next problem that needs to be solved when processing complex ores with different host rocks is different technological types of ore beneficiation. As a rule, this involves the construction of separate technological enrichment lines.

We considered several options for obtaining final products and obtaining the appropriate economic effect. This is how the model of the Kapitansky deposit was built, which takes into account the extraction of all useful components from a single ore mass. the value of the resource base of complex deposits in the subsoil directly proportionally depends on complex development and obtaining final products of maximum processing.

Гірничозбагачувальні підприємства вважають комплексні родовища не дуже привабливими для експлуатації. І це завдяки тому що це потребує різних підходів, як в видобуванні, так і в збагаченні комплексних руд.

Так, на прикладі Капітанського родовища для видобування пропонуються два види основної корисної копалини. Перший це силікатний нікель, який в основному, розташований в нонтронітових корах вивітрювання, другий це хромітові руди, які зосереджені в гіпербазитах однойменного масиву.

Таким чином, освоєння родовища припускає два варіанти розкриття та видобутку, а також в наявності два технологічних типи руд. Це все ускладнює процес освоєння об'єкту, але комплексне освоєння значно збільшує економічний ефект від видобування руд. І це не

поодинокий приклад складності наших українських надр. Таким чином наші родовища необхідно в першу чергу розглядати в комплексному освоєнні.

В адміністративному відношенні Капітанське родовище хромових руд розташоване на орних землях Капітанської сільської ради та частково під селом Капітанка Голованівського району Кропивницької області. В 1,5 км на південний схід від родовища знаходиться ТОВ «Побузький феронікелевий комбінат» із добре розвинутою інфраструктурою (рис. 1). Останні довоєнні роки комбінат працював на закордонній сировині. В свій час були відпрацьовані два невеликих родовища силікатного нікелю в корах вивітрювання, а хромітові руди взагалі не були відпрацьовані.

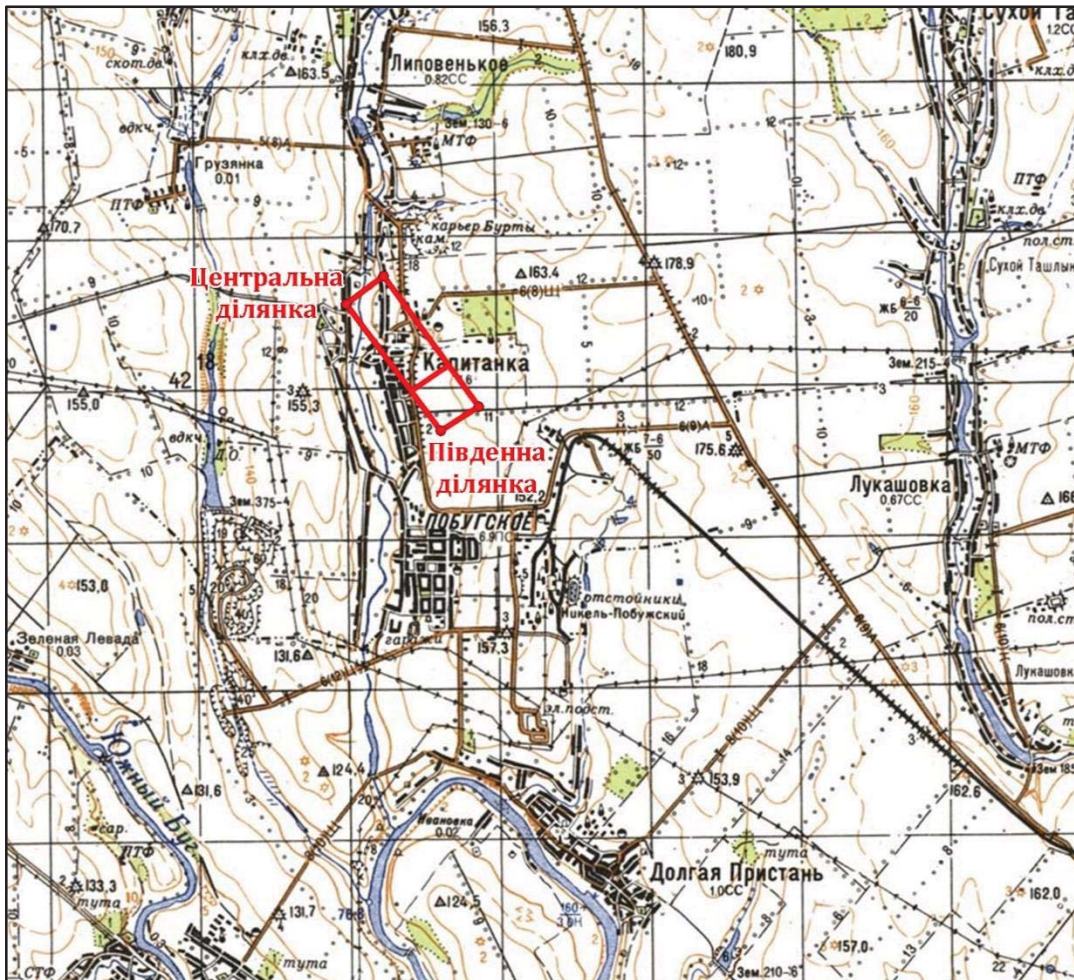


Рис. 1. Оглядова карта району Капітанського родовища (Центральна та Південна ділянки)
Масштаб 1:100 000

Нікелеве зруденіння в корах вивітрювання представлено нонтронітовими корами з складною морфологією. Потужність кори вивітрювання в межах родовища коливається від 10 до 20 м. Поблизу західного контакту ультрабазитів з силіманіт-кордієритовими гнейсами кора вивітрювання досягає 120 м (центральна частина родовища) – 270 м (південна частина родовища), утворює так звані кишенькоподібні-каньйоноподібні заглиблення, виповнені вохрами, нонтронітами і бурими залізяками і є лінійною корою вивітрювання.

1. Верхній шар потужністю 2-3 м складений бейделіт-каоліновими глинами строкатого вохристо-зеленого кольору. Вміст Ni складає 0,1-0,2 %.

2. Нижче залягає дуже невитриманий горизонт вохр і щільних бурих залізяків, потужність яких змінюється від 0 до 25 м. Бурі залізяки і вохри, як правило мають промислові вмісти нікелю, утворюють комплексні залізо-нікелеві руди. Вохриста зона містить в середньому 0,6 % нікелю, 0,04 % кобальту і 41,7 % заліза.

3. Донизу залізяки поступово змінюються нонтронітами, що представляють собою рудний шар потужністю від кількох до 30-40 м, найчастіше 10-15 м. Нонтроніти і обохрені нонтроніти утворюють суцільний горизонт на усій площі поширення серпентинітів.

Ободрення нонтроніту обумовлене розкладанням його з виділенням гідроокисів заліза. Зона вохристих буро-зеленкуватих нонтронітів має середню потужність її 7,0 м, середній вміст нікелю 0,65 %, кобальту 0,03 %, заліза 29 %. Ця зона, як правило, повністю входить в промислові рудні поклади.

Тіла хромових руд представлені жилами складної морфології і невтриманої потужності. Крім того, з корою вивітрювання ультраосновних порід пов'язані силікатні нікелеві руди потужністю від 1 до 50 м із середнім вмістом нікелю 0,99 %.

Промислові хромові руди представлені 2 типами: суцільні, які не потребують збагачення (біля 20 % загальних запасів), і густовкраплені, які потребують збагачення (80 % розвіданих запасів). За вмістом Cr_2O_3 виділяються хромові руди: бідні – 6-15 %; вкраплені – 15-29 %; густовкраплені – 29-30 %; масивні або суцільні – 40-45 %.

Руди верхніх горизонтів родовища, які складають близько 35 % запасів суцільних і близько 40 % густовкраплених руд, залягають у корі вивітрювання і перетворені в пухкі (порошкові) різновиди. Вміст Cr_2O_3 в суцільних рудах змінюється по рудних тілах від 36,1 до 42,7 %, SiO_2 присутній в них від 4,3 до 7,7 %. В густовкраплених рудах середній вміст змінюється по рудних тілах в наступних межах: Cr_2O_3 від 24,1 до 34,6 %, SiO_2 7,5 до 21,5 %. Технічним вимогам промисловості феросплавів відповідають тільки щільні суцільні руди Капітанського родовища, які відносяться до середньо залізистих марок і сортів 11-13, для яких середнє відношення Cr_2O_3 до FeO повинне бути в межах 2,0-2,7, при вмісті Cr_2O_3 34-44 %, SiO_2 не більше 8,5 і CaO не більше 3,0 %.

В центральній частині родовища виділяється 11 рудних тіл хрому, в південній – 4 рудних тіла хрому (які продовжують тіла центральної частини) і 3 – силікатного нікелю.

Таким чином крутопадаючі тіла хромітових руд та нонтронітова лінійна кора вивітрювання нікелевих руд передбачає підземний спосіб відпрацювання всього родовища. Нижче наведені геологічна карта та характерний геологічний розріз (рис. 2), де рудні тіла з промисловим значенням виділені червоним кольором.

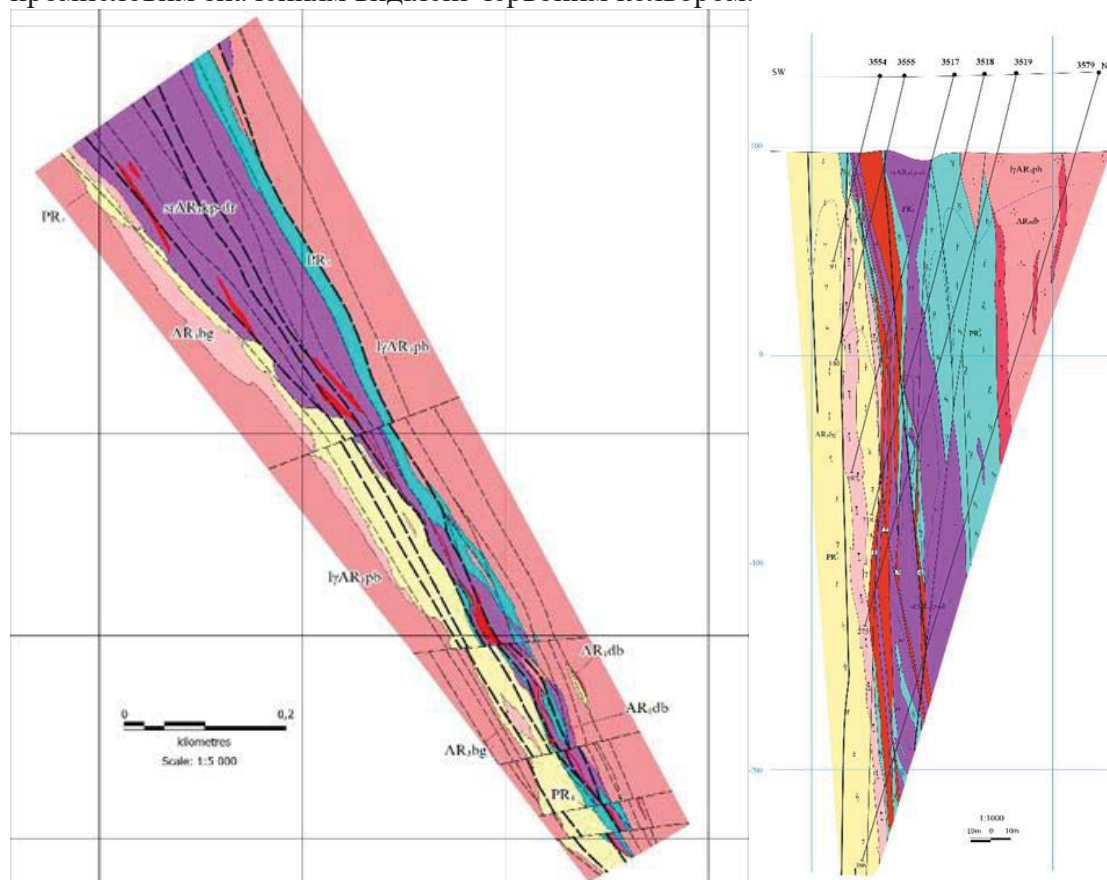


Рис. 2. Геологічна карта та геологічний розріз Капітанського родовища

Для більш зрозумілого прийняття морфології рудних тіл хромітових руд була побудована попередня модель з бортовим вмістом Cr_2O_3 4% (рис. 3).

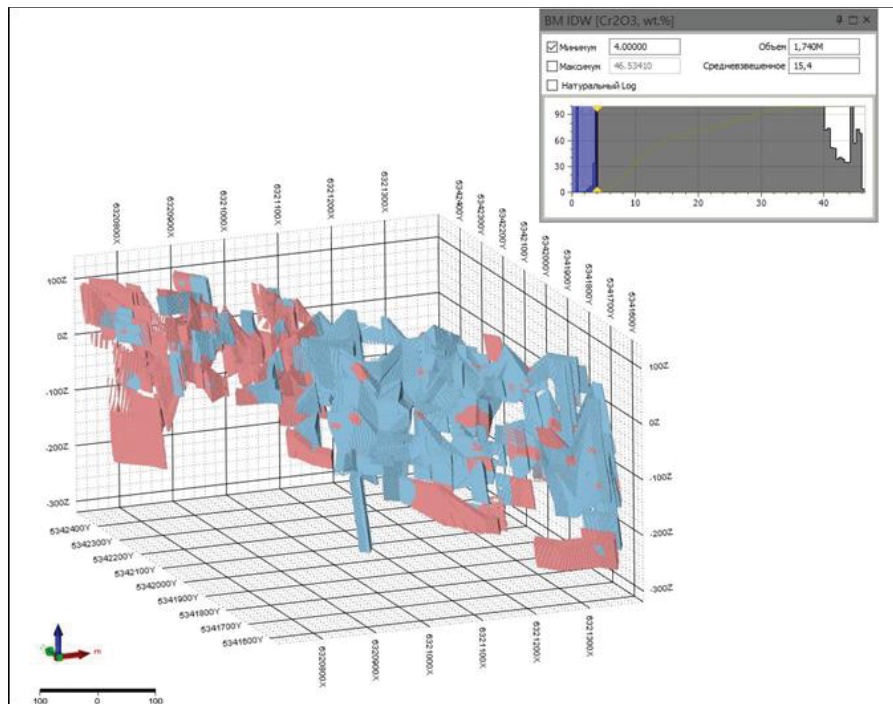


Рис. 3. Попередня модель хромітових руд Капітанського родовища

Враховуючи різну міцність вміщуючих порід для нікелевих та хромітових руд були запропоновані різні варіанти розкриття та відпрацювання рудних тіл.

Весь шар кори виймати і деформувати ризиковано. Під пісками потрібно буде залишити цілик 15-25 м (уточнюється геотехнічними розрахунками деформацій), щоб не деформувати піски в покрівлі. Під захистом цілика нижні близько 5-10 м з вмістом нікелю 0,8-0,99 % можна, в принципі, відпрацювати.

Запропоновано розглянути варіант відпрацювання без БВР, щоб не стрясати і не деформувати масив в покрівлі. Механізована виїмка руди або прохідницькими комбайнами, або continuous miner. Міцність порід невелика і опірність різанню теж не буде високою

Система розробки – довгими камерами чи шарами із закладкою (cut & fill) або камерно-стовпова (room & pillar) із закладанням. Геотехнікам потрібно буде розрахувати стійкість і максимальне відслонення

Необхідно задуматися про порядок відпрацювання родовища: вигідніше відпрацювати відразу кору, а потім відпрацювати кристалічні породи глибше; або є сенс забрати кору після відпрацювання рудника в кристалічних породах. Наскільки зрозуміло, рудник планується відпрацьовувати із закладкою. Тому вище розміщена кора вивітрювання не буде деформована, особливо, якщо залишити під нею цілик по кристалічним породам, який потім можна буде відпрацювати.

Це, звичайно, концепція, яку, потрібно буде прорахувати.

Втрати при таких системах розробки 25-40%. Залежить від розмірів ціликів. Розміри дає геотехніка.

Наступна проблема яку необхідно вирішувати при відпрацюванні комплексних руд з різними вміщуючими породами це різні технологічні типи збагачуваності руд. Як правило це передбачає будівництво окремих технологічних ліній збагачування. Так для кор вивітрювання основною операцією є відмучування глинистих мінералів та флотація, тоді як для хромітових руд це в першу чергу подрібнювання та подальше збагачення в залежності від вмісту Cr_2O_3 . Це все призводить до збільшення як капітальних так експлуатаційних витрат, Але дає значний економічний ефект в отриманні кінцевих продуктів, а також що важливо до комплексного використання надр.

Нами було розглянуто декілька варіантів отримання кінцевої продукції та отримання відповідного економічного ефекту. Так була побудована модель Капітанського родовища яка враховує видобування всіх корисних компонентів з єдиної рудної маси (рис. 4). Середня вартість врахованих корисних компонентів в 1 тонні рудної маси становить 146,94 \$. При

розрахунку умовного Cr_2O_3 ціни на нікель 15745 \$ США та кобальт 31995 \$ США застосовані станом на 20.11.2020. Ціна на Cr_2O_3 отримана в компанії за тону руди 270 \$ США. Розрахунок проводився на 40% руди.

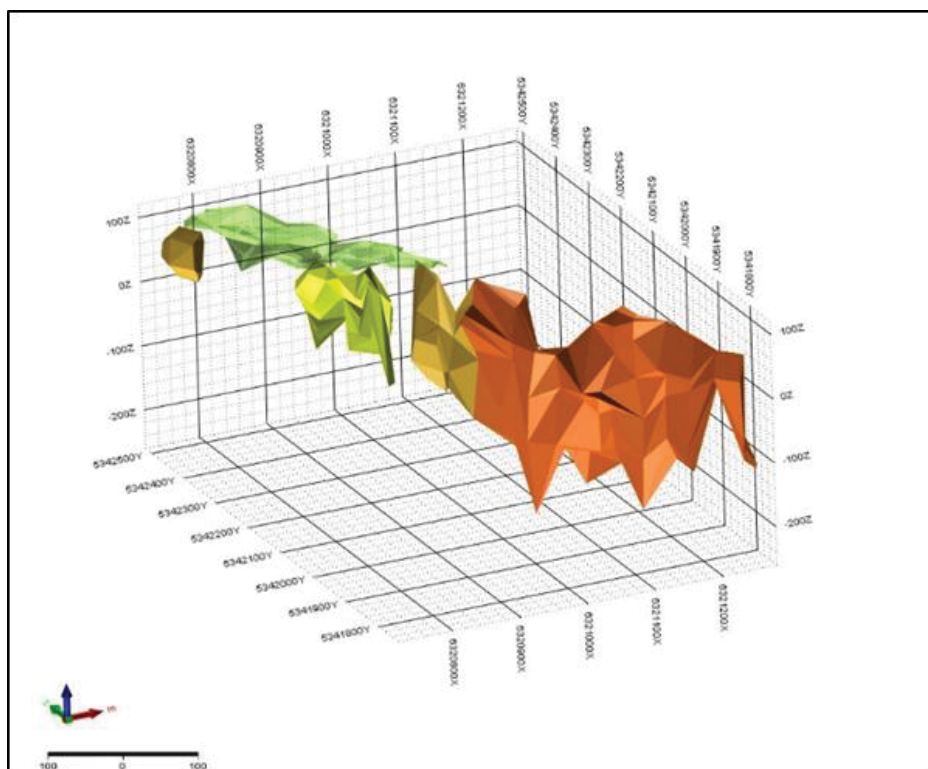


Рис. 4. Попередня тривимірна модель Капітанського родовища

Згідно виконаного моделювання була проведена попередня оцінка вартості руди в надрах всіх корисних компонентів (табл. 1).

Таблиця 1

Вартість компонентів в надрах

Каркаси, показники	Маса руди в тонах	Cr_2O_3 умовний		Cr_2O_3		Ni		Co	
		Вміст%	Об'єм	Вміст%	Об'єм	Вміст%	Об'єм	Вміст%	Об'єм
Оге хром умов.	3991546	20.515	818867	6.464	258023	0.546	21787	0.028	1122
Оге нікель в корах	390613	20.157	78734	4.292	16766	0.659	2575	0.011	41.4
Всього в %, тонах	5936904	21.75	1291598	7.58	450159	0.56	33331	0.023	1366.8
Ціна в тис. \$		872411.4		303857.3		524823.3		43730.8	
% участі в ціні				34.83		60.16		5.01	

Крім цього були розглянуті варіанти вартості ресурсної бази родовища у відповідності з отриманням різних кінцевих продуктів (табл. 2-4).

Таблиця 2

Варіант з отриманням хромітового концентрату та нікелю і кобальту

	Запаси	Ціна \$/т	Цінність компонентів в надрах Ціна×Тонаж, М\$	Вартість ресурсів \$М (с коеф.)
концентрат Cr_2O_3	1632.65	270	440.82	324.44
Ni	33.3	17520.0	583.96	429.79
Co	1.4	37995.0	51.93	38.22
Сума			1076.71	792.46

Вартість ресурсної бази з урахуванням коефіцієнтів приведення вартості ресурсів у надрах до кінцевої товарної продукції:

K_1 – вихід товарної продукції із кількості руди = 27.25%

K_2 – облік геологічних ризиків = 0.9-0.92

K_3 – облік втрат при видобутку та переробці = 0.8

Таблиця 3

Варіант з отриманням ферохрому, нікелю та кобальту

	Запаси	Ціна \$/т	Цінність компонентів в надрах Ціна×Тонаж, М\$	Вартість ресурсів \$М (с коеф.)
Cr ₂ O ₃	450.16	2200.00	990.35	728.90
Ni	33.33	17520.00	583.96	429.79
Co	1.37	37995.00	51.93	38.22
Сума			1626.24	1196.91

Вартість ресурсної бази з урахуванням коефіцієнтів приведення вартості ресурсів у надрах до кінцевої товарної продукції:

K_1 – вихід товарної продукції із кількості руди = 16.2%

K_2 – облік геологічних ризиків = 0.9-0.92

K_3 – облік втрат при видобутку та переробці = 0.8

Таблиця 4

Варіант з отриманням металевого хрому, нікелю і кобальту

	Запаси	Ціна \$/т	Цінність компонентів в надрах Ціна×Тонаж, М\$	Вартість запасів и ресурсів \$М (с коеф.)
Cr	306.11	11000.00	3367.19	2478.25
Ni	33.33	17520.00	583.96	429.79
Co	1.37	37995.00	51.93	38.22
Сума			4003.08	2946.27

Вартість ресурсної бази з урахуванням коефіцієнтів приведення вартості ресурсів у надрах до кінцевої товарної продукції:

K_1 – вихід товарної продукції із всієї кількості металу = 16.2%

K_2 – облік геологічних ризиків = 0.9-0.92

K_3 – облік втрат при видобутку та переробці = 0.8

Таким чином вартість ресурсної бази комплексних родовищ в надрах прямо пропорційно залежить від комплексного освоєння та отримання кінцевої продукції максимальної переробки.

Нижче наведено співставлення різних варіантів отримання кінцевої продукції та вартісної оцінки ресурсної бази (рис. 5).

Таким чином можна констатувати, що для комплексних родовищ вигідно економічно відпрацьовувати всі види корисних компонентів з отриманням продукції глибокої переробки незважаючи на збільшення капітальних та експлуатаційних витрат. Так при відпрацюванні тільки однієї основної корисної копалини такі родовища знаходяться на кордоні рентабельності, не кажучи вже за раціональне використання надр, що передбачено діючою законодавчою базою.

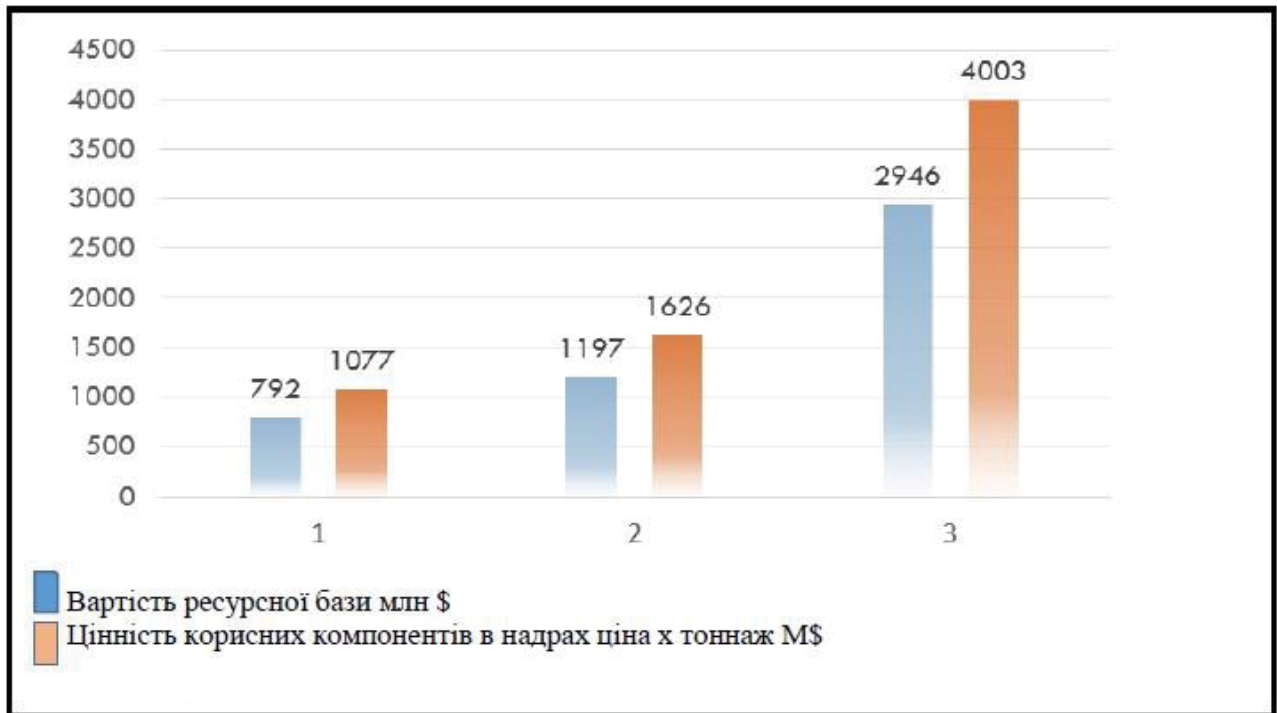


Рис. 5. Співставлення варіантів вартості ресурсної бази від отримання різної кінцевої продукції

Список використаних джерел:

Закон України Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року// <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text>

Клочков В.М., Шевченко О.М., Клочков С.В., Белєвцева М.Р. Геологічна карта основних структурних поверхів України. Масштаб 1:1 000 000. – Київ, 2015

Павлюк В.М. Попередня геолого-економічна оцінка Капітанського родовища хромових руд у Кіровоградській області (станом на 01.01.2019 р.). Київ, 2018.

Critical raw materials// https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en

Australian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. – Joint Ore Reserves Committee, 2012. – 44 p.