

© I.O. Мірошников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ОБҐРУНТУВАННЯ УМОВ РОЗРОБКИ ВЕРБИНСЬКОГО МОЛІБДЕНОВОГО РУДОПРОЯВУ З ЦІЛЕПОКЛАДАННЯМ НА ВИДОБУТОК МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ ТИМЧАСОВИХ КОНДИЦІЙ

© I. Miroshnykov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## JUSTIFICATION OF THE MINING OPERATIONS ON THE VERBYNSKE MOLYBDENUM ORE OCCURRENCE WITH THE PURPOSE OF PRODUCTION OF MINERAL RAW MATERIALS OF TEMPORARY CONDITIONS

**Мета.** Обґрунтувати міркування щодо встановлення тимчасових кондицій мінеральної сировини для Вербинського молібденового рудопрояву.

**Методика дослідження.** Дослідження виконано із застосуванням загальнонаукових та спеціальних методів досліджень – теоретичних (аналіз, пояснення, узагальнення, порівняння), техніко-економічної оцінки та метода повного перебору.

**Результати дослідження.** Проведені дослідження дозволили визначити оптимальну систему розкриття родовища системою гірничих виробок за технічними та економічними міркуваннями на основі геологічної інформації досліджень минулих періодів та встановити найбільш впливові сучасні фактори екологічного, правового та економічного характеру. Обґрунтовано особливо виняткову промислову важливість мінеральної сировини Вербинського рудопрояву та безальтернативність комплексного видобутку корисних копалин родовища. Радіаційно небезпечна локація Вербинської ділянки було результативно включено в систему розробки. Система розробки відповідає здоровому глузду та обережному прагматичному підходу.

**Наукова новизна.** Вперше обґрунтовано систему розробки для встановлення кондицій на комплексному рудопрояві складної геологічної будови, гірський масив якого має ознаки ендемічного. Встановлено закономірності за якими в гірському масиві знайдено цілі, що являють собою перспективні локації. Встановлено залежності за якими цілі вибірково долучаються до розкриття мережею гірничих виробок.

**Практичне значення.** Отримані дані сприяють відновленню гірничих робіт на Вербинській ділянці після багаторічної перерви. Досвід по встановленню тимчасових кондицій на цій ділянці спростить аналогічні роботи на інших ділянках геологічного регіону. Пропозиції по встановленню тимчасових кондицій на комплексні корисні копалини в Україні виникають вкрай рідко, тому оцінка практичного значення очікується вище за середню.

**Ключові слова:** тимчасові кондиції, комплексний видобуток, комплексна корисна копалина, поліметалева руда, флюорит, цинвальдит, лепідоліт, халькопірит, золото, молібденіт, радон.

**Вступ.** Руди молібдену вважаються корисною копалиною Вербинського рудопрояву [1]. Попередньою геолого-економічною оцінкою (ГЕО-2) на рівні кінцевої товарної продукції гірничого виробництва був одержаний кондиційний молібденовий концентрат, який відповідає ГОСТ 212-76 та підраховані запаси молібдену категорії С<sub>2</sub> [2].

Встановлення запасів молібдену доцільно вважати великим досягненням вітчизняних гірничих інженерів та науковців, пошуки та вивчення тривали декілька десятків років та знадобилось витратити мільйони гривень з державного бюджету. Проте, ще до закінчення виконання ГЕО-2 (2002 рік), його виконавцям стало зрозуміло, що недофінансування, значна геологічна складність родовища, невдачі в лабораторних спробах вилучити супутні компоненти, видима відсутність родовищ-аналогів призведуть у майбутньому до проведення великої кількості додаткових досліджень. У сучасності вимоги українського законодавства до подібних досліджень змінились, набули адаптованості до світових стандартів. Відбулись значні зміни світового досвіду з видобутку руд, їх переробки, зберігання відходів, забезпечення соціальної відповідальності надрокористувача та іншого. Головним чином проведений ГЕО-2 не відповідає змінам, які було внесені до Постанови № 432 від 5 травня 1997 р. Тобто проведений ГЕО-2 не враховує, що Вербинський рудопрояв має ознаки комплексного родовища. Відповідно до п. 14 Постанови № 432 передбачається, що «на комплексних родовищах підрахунку та обліку підлягають запаси основних, спільно залягаючих і супутніх корисних копалин, наявні у них корисні компоненти, а також відходи гірничого виробництва. Підрахунок запасів спільно залягаючих і супутніх корисних копалин та наявних у них корисних компонентів провадиться в установленому порядку».

Останнє дослідження [3] виявило прогностичні наслідки видобутку виключно молібденових руд встановлених ГЕО-2, тобто без врахування комплексності родовища. За прогнозом видобуток не можливий з причин збитків, що набувають від штрафів за порушення екологічної стійкості довколишнього середовища.

Можна стверджувати, що з правових, екологічних, економічних та ресурсозберігаючих обставин видобуток корисних копалин на Вербинській ділянці відбудеться тільки з урахуванням комплексності родовища.

**Основна частина.** Вербинський рудопрояв – ділянка надр охоплена різними видами геологічного вивчення. Найвища цінність вивчення базується на достовірності інформації отриманої від 47 свердловин алмазного буріння. Вид рудопрояву в плані згідно з [2] наведено на рис. 1

Сировинний базис Вербинського рудопроява представлений сорока п'ятьма елементами періодичної системи (рис. 2).

Наявність мінералів урану, торію, а також радону в сильно радіоактивних пробах води з свердловини (до 1537 бк/л або до 415 еман) [2] вказують на радіаційну небезпеку та необхідність вживання спеціальних заходів при веденні гірничих робіт. Також слід зазначити, що такі види діяльності як: видобування, переробка уранових руд; перевезення радіоактивних матеріалів; переробка, зберігання радіоактивних відходів – відносяться до сфери використання ядерної енергії, що підлягають ліцензуванню відповідно до Закону України «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії». Фактично вказані ліцензії отримують гірничі підприємства державної форми власності, тому видобуток та переробка руд Вербинської ділянки відбудеться гарантовано підприємствами державної власності.

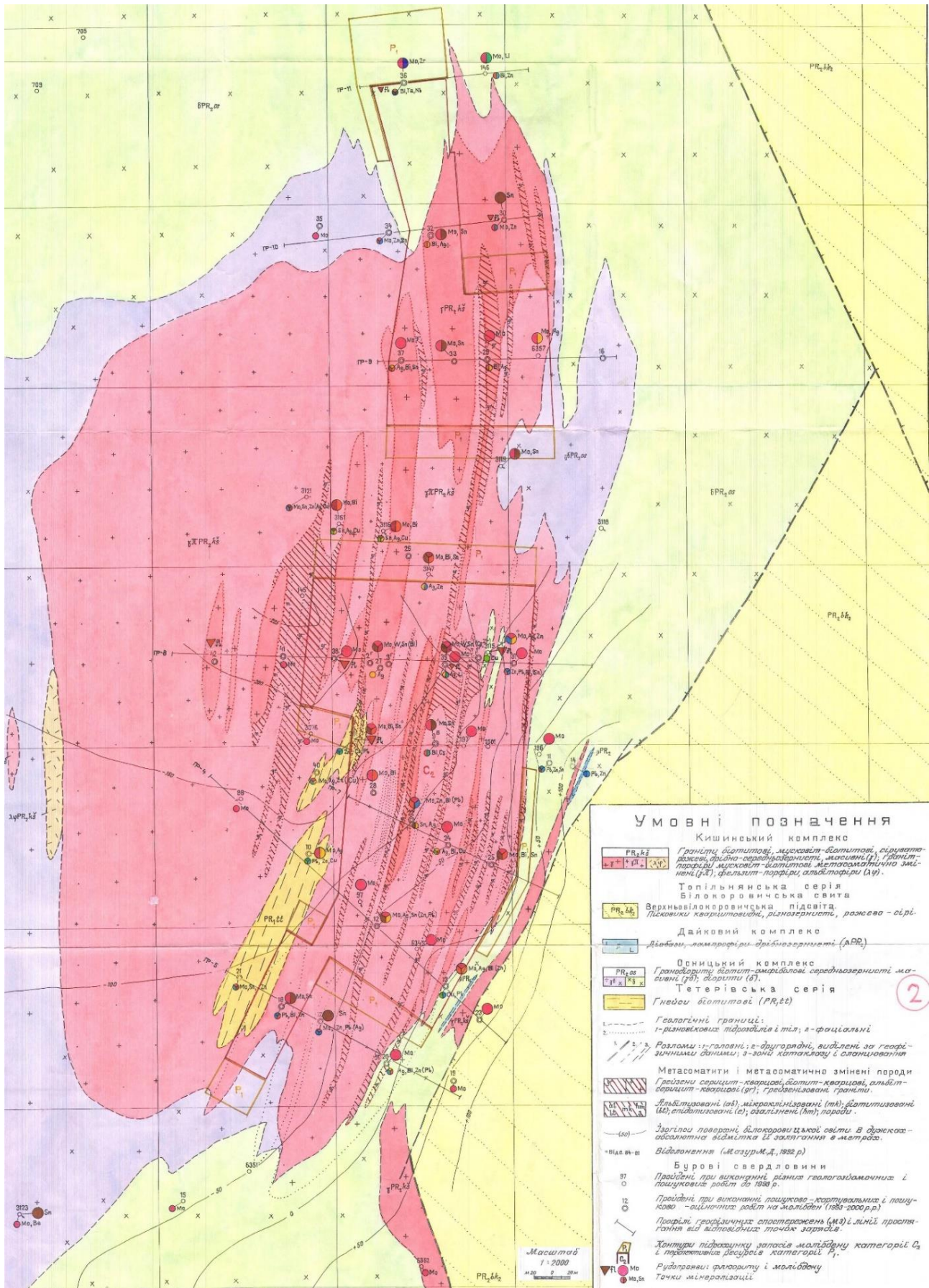


Рис. 1. Скорочена геологічна карта Вербинського рудопоясу [2]

Група→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓Період																		
1	1 H																	
2	3 Li															8 O	9 F	
3	11 Na												13 Al	14 Si	15 P	16 S		
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti		24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn			33 As			
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo					47 Ag	48 Cd		50 Sn	51 Sb			
6	55 Cs				73 Ta	74 W	75 Re				79 Au			82 Pb	83 Bi			86 Rn
7																		
					58 Ce				62 Sm	63 Eu							70 Yb	
					90 Th		92 U											
					Лантаноїди													
					Актиноїди													

Рис. 2. Сировинний базис Вербинського рудопроява

Відповідно до п.15 Постанови №432 передбачається, що «супутні корисні компоненти, які накопичуються під час переробки мінеральної сировини в товарних продуктах переділу, підраховуються і обліковуються як за наявністю на місці залягання корисних копалин, так і в продуктах та мінералах, що з них вилучаються».

Встановлено супутні корисні компоненти на місці залягання відповідно до корисної складової мінеральної сировини. Для цього використано методи порівняння та узагальнення похідної інформації, що наведено в [2]. Знайдено найменування товарної продукції кожному з видів мінеральної сировини відповідно до інформації, що наведено в [4]. Результати досліджень наведено на рис. 3.

На наступному етапі досліджень було встановлено розподіл корисних компонентів по інтервалам свердловин та віднесено їх на очікувані види товарної продукції. Кожен вид очікуваної товарної продукції було оцінено у доларах США. Ціни на товарну продукцію підібрано згідно з [4]. Зокрема було оцінено техніко-економічні показники відомих промислових родовищ світу з видобутку молібдену, міді, золота, срібла, урану, свинцю, цинку, вольфраму та інших корисних компонентів різного стану освоєння родовищ. Шляхом порівняння світових витрат на видобуток корисної копалини з умовами Вербинського рудопроява було встановлено прогноз, що за геологічними, технічними та економічними ознаками ймовірним способом промислового розроблення родовища є кар'єрний з цінністю близько 25 дол. США на тону корисної копалини на місці залягання.

Відповідно до Постанови №432 встановлення тимчасових кондицій, що є складовою обґрунтування запасів для дослідно – промислового освоєння потребує закладання гірничих виробок. Для умов Вербинського рудопроява такі виробки доцільно робити підземними, а не відкритими, наприклад, траншеями, тому як згідно з [2] корінні породи зазвичай перекриті чохлам пухких мезо-кайнозойських відкладів, потужність яких на території робіт досягає 5–45 м; також поширені зональні і лінійні кори вивітрювання різної потужності.

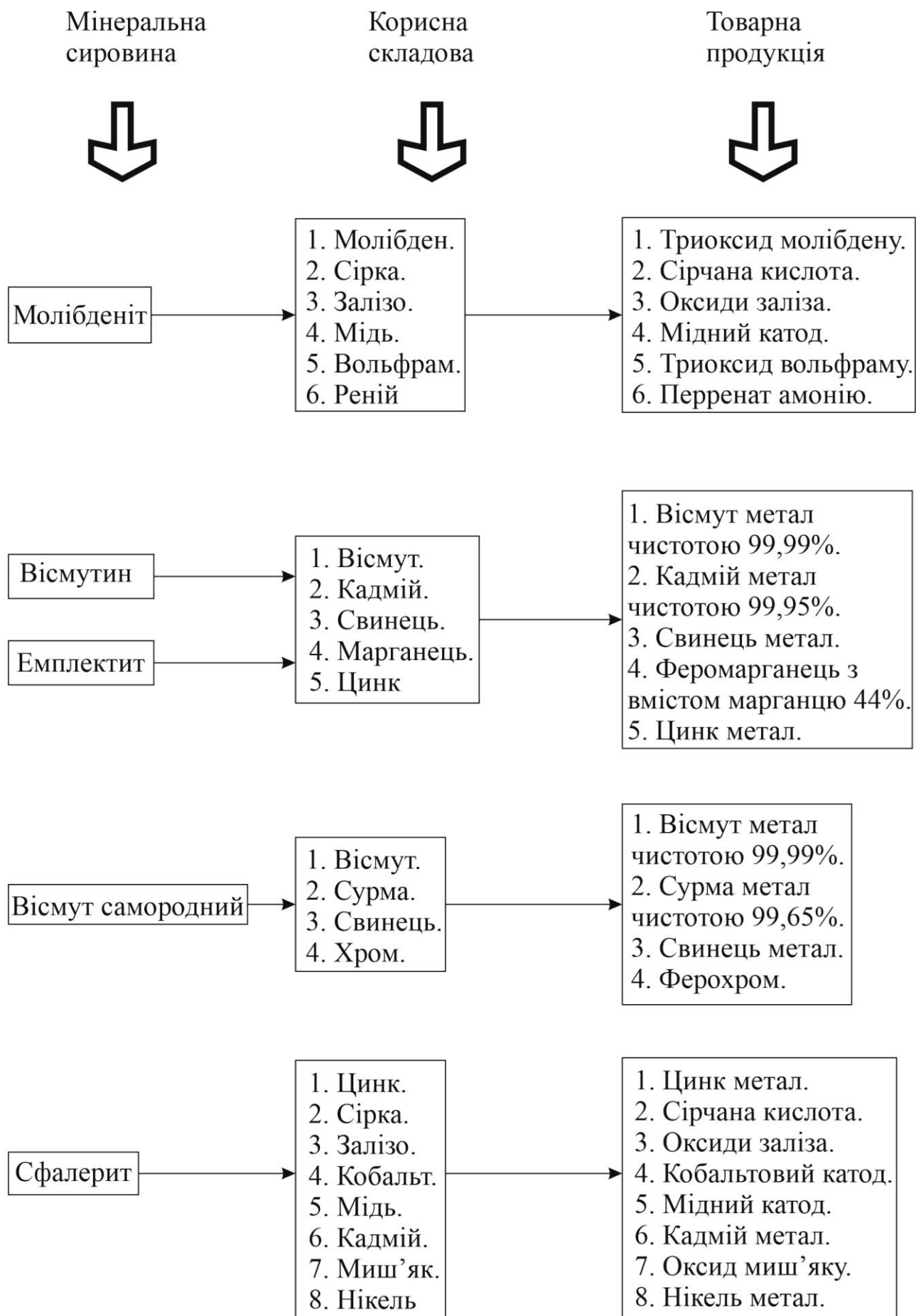
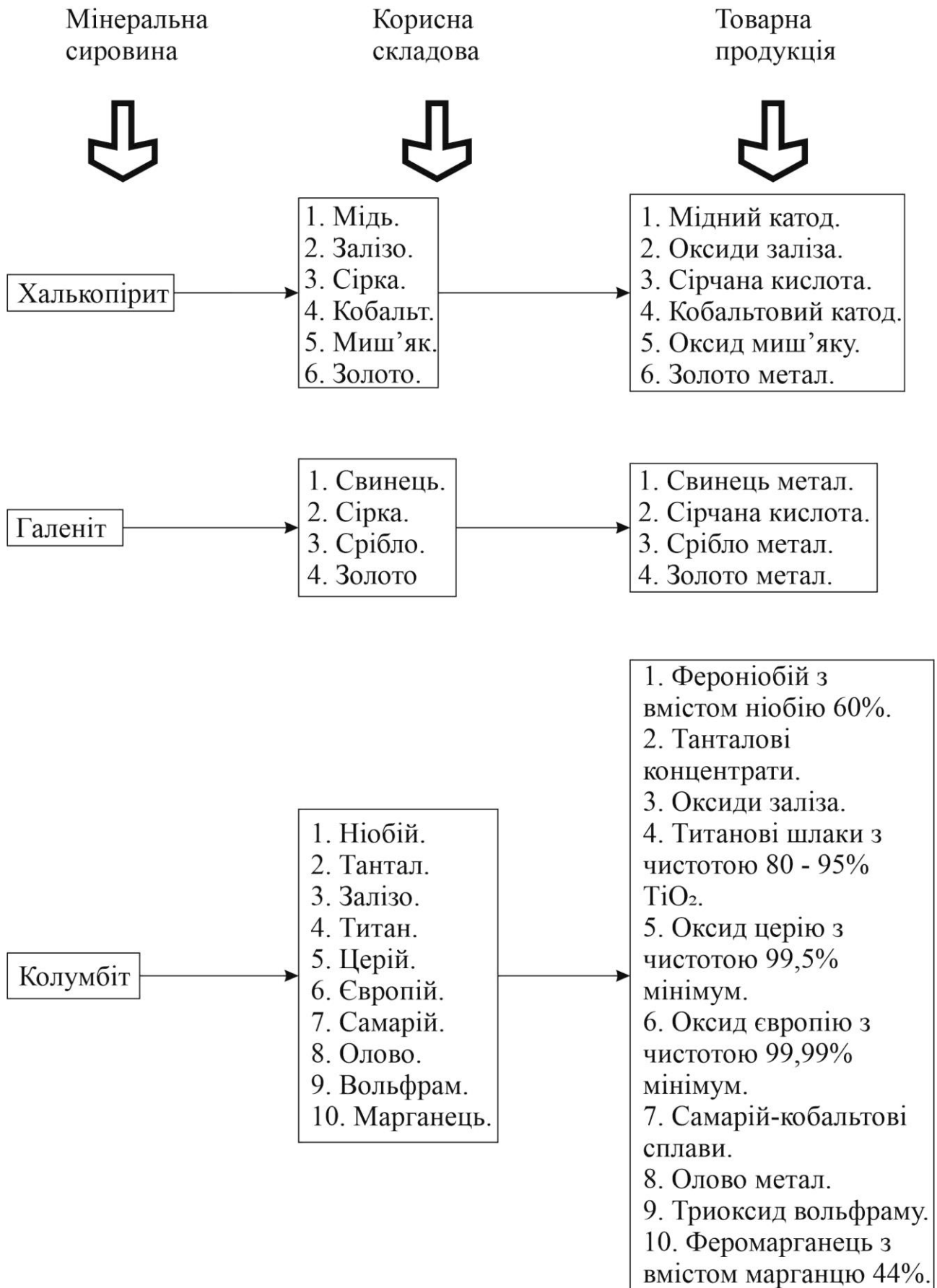
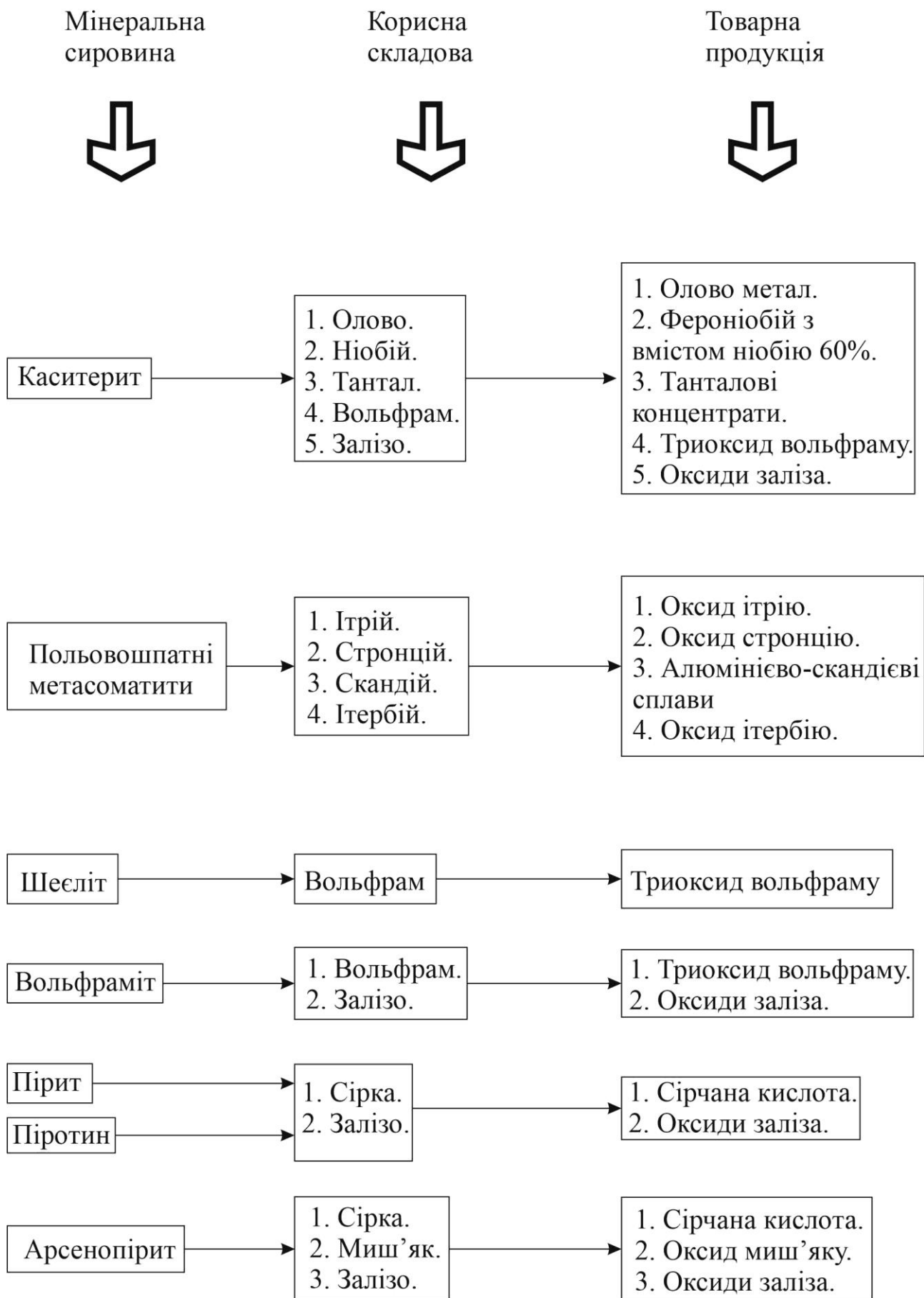


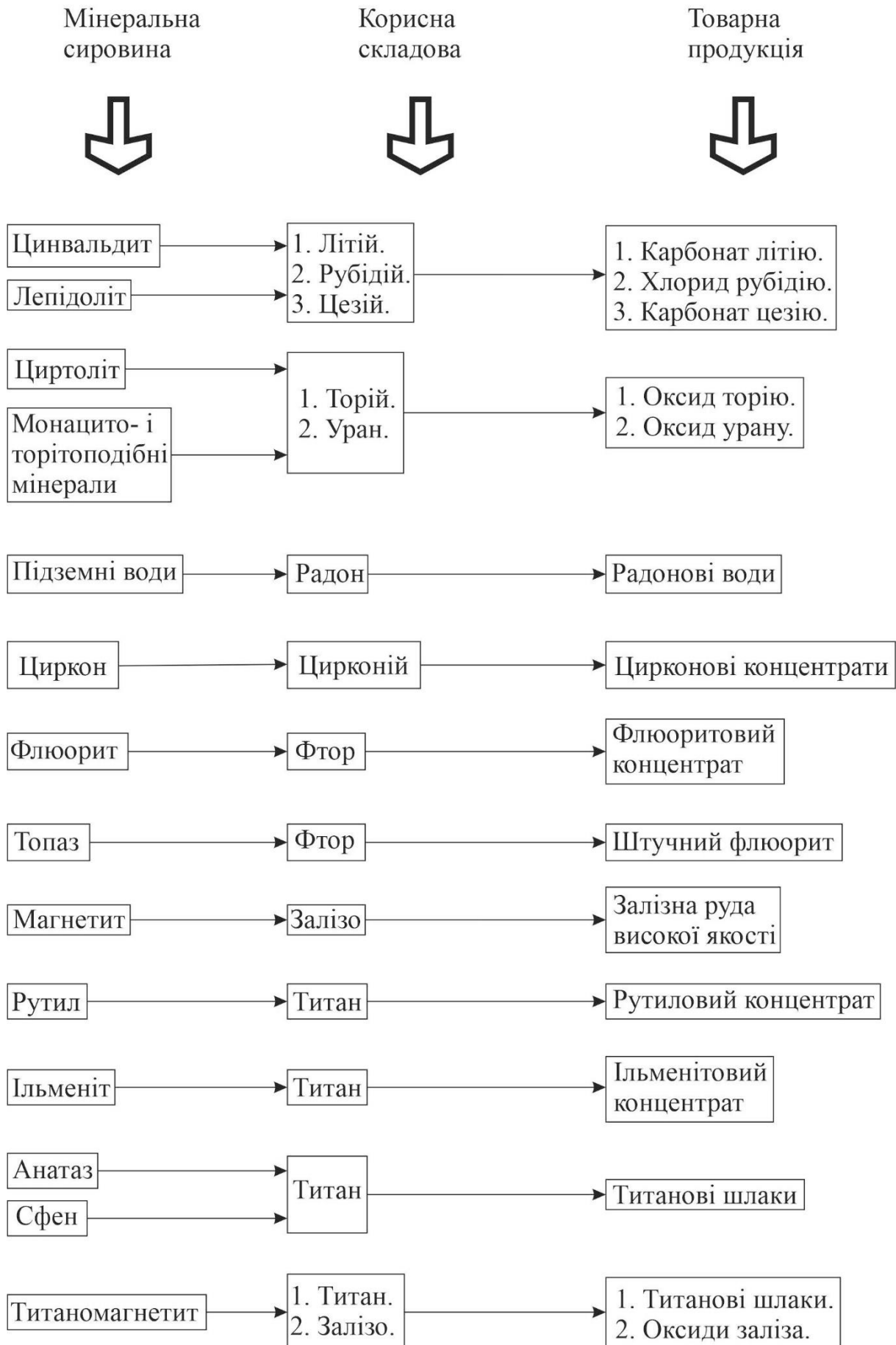
Рис. 3. Розподіл сировини Вербинської ділянки на товарну продукцію



Продовження рис. 3



Продовження рис. 3



Продовження рис. 3



Продовження рис. 3

Підсумовуючи можна стверджувати, що для Вербинського рудопрояву встановлення тимчасових кондицій полягає у цільовому вилученні зразків гірських порід різних типів мінеральної сировини, гірничими виробками правильного циліпокладання з подальшим аналізом зразків.

Вид мінеральної сировини – ознака, за якою зроблено припущення можливості отримання окремих кондиційних продуктів за винятковою для даного виду технологічної схеми переробки видобутої з надр сировини. Тобто, відомо що з наявних практик переробки та збагачення руди різного складу переробляють за різними технологічними схемами. Наприклад, для молібденіту застосовують виключно флотацію, для каситериту – гравітацію, цинвальдиту – електросепарацію. Для поліметалевих, флюоритових, золотих та інших видів мінеральної сировини станом на зараз складно встановити технологічну схему без вивчення зразків мінералів, але прогнозовані значні розбіжності технологічних схем їх збагачення.

Проведено розподілення мінеральної сировини на різновиди кондицій за неглибоким, до 50 метрів, заляганням. Встановлено 7 різновидів, що наведено в таблиці.

Таблиця

## Розподіл мінеральної сировини за різновидами кондицій

Ід	Умовна назва корисної копалини/ різновида кондицій	Основні корисні компоненти	Супутні корисні компоненти	Перетин за номерами свердловин
1	Молібден	Mo	Re, W, Bi, Sn, Zn, Pb, Cu, Ag	6357, 24, 197, 31, 13, 25, 27
2	Літій	Li, Rb, Cs	Bi, Sn, Zn, Pb, Mo, Re, F	31, 146, 12, 20
3	Олово	Sn	Mo, Re, Bi, Cu, W, Nb, Ta, REE	30, 33, 25
4	Флюорит	F	Pb, Bi, Mo, Re, Ag	30, 9в, 201
5	Поліметал	Zn	Bi, Sn, Pb, Mo, Re, Cu	21, 3121, 13, 40, 38, 14
6	Золото	Au	Pb, Ag, Bi, Mo, Re	26
7	Радон	Rn		1г

Кожен з наведених (див. табл.) видів мінеральної сировини є ймовірною ціллю розробки Вербинського родовища. Тобто, з погляду нормативних документів (Постанова 432, РКООН-2009) є підстави вважати що кількість цілей, до яких потрібно визначити кондиції становить сім видів. Під час визначення тимчасових кондицій припустимо, що дослідженнями буде встановлено нові види мінеральної сировини, або відсутність технологічної або економічної можливості видобутку стосовно наведених видів мінеральної сировини.

На рис. 4 зображено Вербинський рудопрояр в плані з відмітками різновидів кондицій в межах рудних контурів по маркшейдерських правилах відповідно до [2] та [5]. Рудні контури представлено пронумерованими багатокутниками. Номери контурів співпадають з номерами свердловин. Свердловини знаходяться по центру рудних контурів. Склад руди в межах рудного контуру прийнято співпадаючим з складом руди в контрольній для неї свердловині.

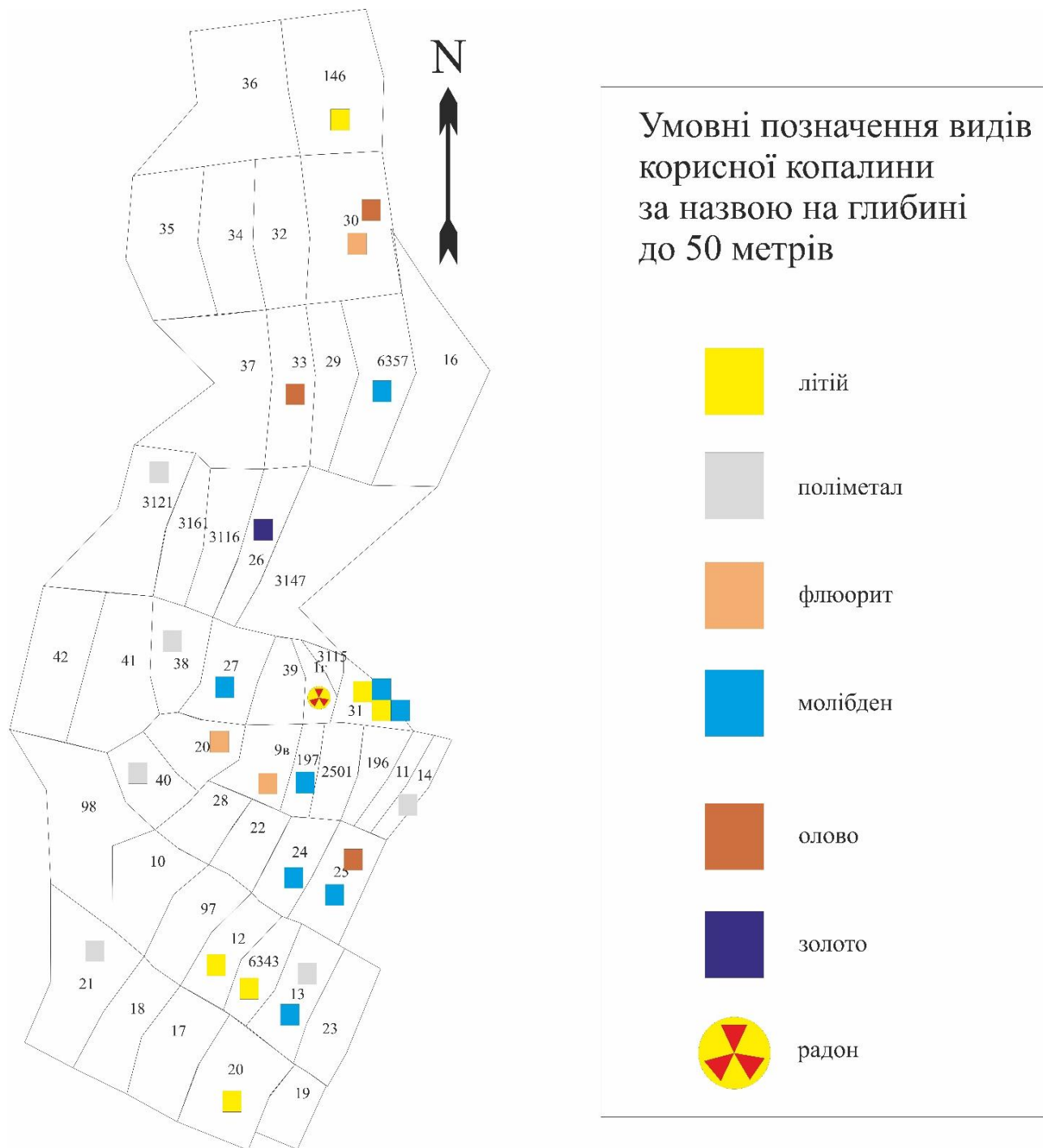
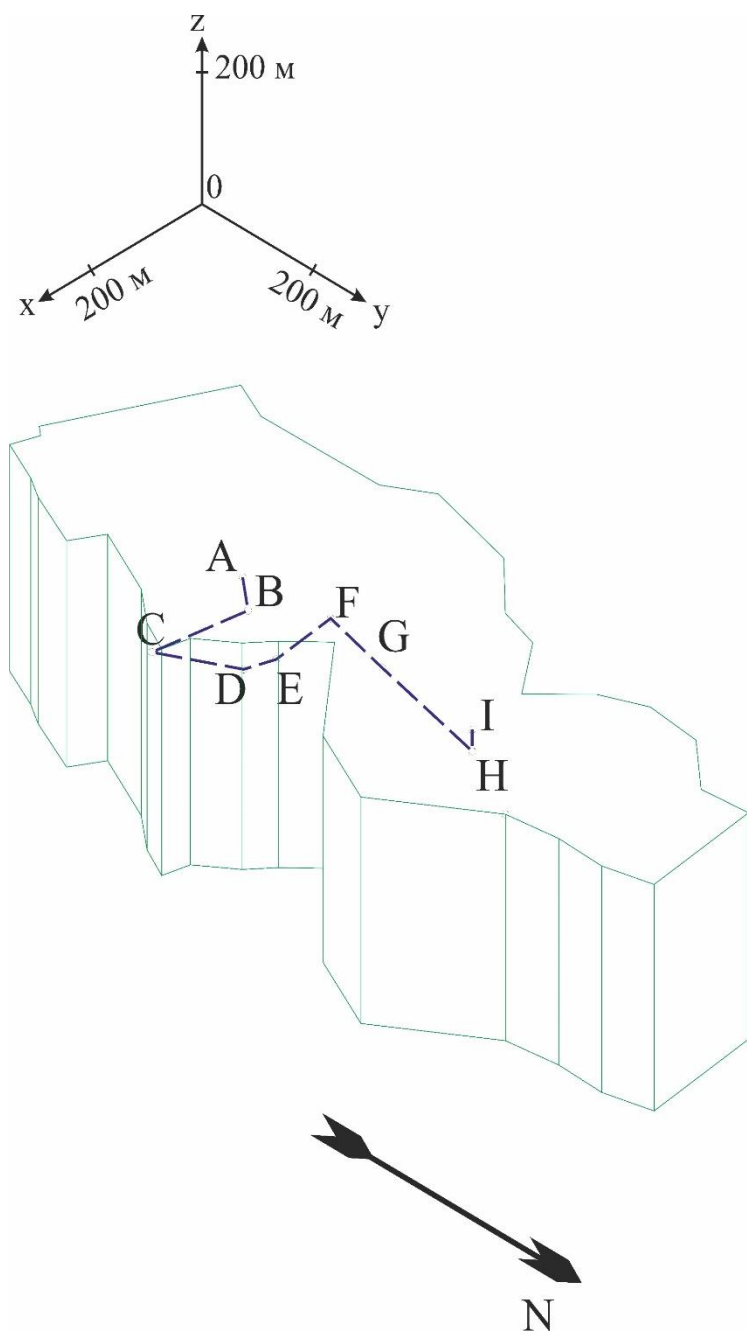


Рис. 4. Розташування корисних копалин/ різновидів кондицій Вербинського родовища на глибині до 50 метрів

Характеристика ідеальної системи гірничих виробок для визначення кондицій буде наступна. Найкоротша сумарна довжина, достатня для одноразового перетину вкрест простягання кожного з різновидів кондицій корисної копалини у різних частинах родовища. Під найкоротша сумарна довжина розуміється достатньо розгалуженість мережі по різних частинах родовища, що у випадку Вербинського родовища повинна наближатись до орієнтиру південь-північ по ломаній траєкторії подібної до покладеної на лівий бік букви W. Розкриття гірського масиву підземними виробками неглибокого залягання на глибинах до 50 м. Тоді система гірничих виробок буде складатися з двох стволів та шістьох пологих виробок. При виборі місць закладання стволів орієнтовано на мінерали, для яких процеси вивітрювання корінних порід не змінюють мінерал, тобто схема збагачення передбачається однаковою для окиснених та неокиснених руд. З огляду [6] доцільно один ствол проводить по олову (каситеритовому рудному тілу), а другий по флюоритовому рудному тілу. Розташування стволів по рудних тілах дозволить більш достовірно вивчити рудні тіла при надії на помірну витрату ресурсів.

На підґрунті наведеного, використовуючи метод «повний перебор» (відомий також як метод «грубої сили», англ. brute force), який полягає у перевірці всіх можливих рішень та виборі найкращого, сформовано мережу (систему) гірничих виробок в просторі гірського масиву, а також встановлено деякі головні параметри системи. Результат наведено на рис. 5.

Ключова фігура (рис. 5) зображає Вербинський рудопрояр в прямокутній ізометричній проекції відповідно до максимальній глибини його вивченості (приблизно 320 м). Ділянка *AB* – похилий ствол №1 (кут  $77^\circ$ ), що пройдено до флюоритового рудного тіла встановленого перетином свердловини №9в на глибині 45 м від поверхні в кристалічному масиві. Висотна відмітка гирла цього ствола прийнята автором за нульову відмітку для відліку глибин Вербинської ділянки. Точка *B* поєднується пологою виробкою з точкою *C*, яка являє перетин свердловини №14 поліметалевого рудного тіла на глибині 47,17 м. Точка *C* поєднується пологою виробкою з точкою *D*, яка являє перетин свердловини №31 літійового рудного тіла на глибині 49 м. Точка *D* поєднується пологою виробкою з точкою *E*, яка являє перетин свердловиною №1г радонових вод на глибині 50,5 м. Точка *E* поєднується пологою виробкою з точкою *F*, яка являє перетин свердловини №27 молібденового рудного тіла на глибині 47,6 м. Точка *F* поєднується пологою виробкою з точкою *G*, яка являє перетин свердловини №26 золотого рудного тіла на глибині 44,31 м. Точка *G* поєднується пологою виробкою з точкою *H*, яка являє перетин свердловини №33 олов'яного полого залягаючого рудного тіла в корі вивітрювання на глибині 36,6 м. Точка *H* вертикально поєднується з денною поверхньою (точка *I*). Ділянка *HI* – вертикальний ствол №2.



Ідентифікація	Цінність руд, дол/т
A	0
B	130-144,5
C	47,8
D	5884
E	інша
F	21,2 - 44,1
G	134,7
H	20,1 - 96,5
I	0

Ідентифікація ділянки	Довжина, м	Кут нахилу, градус
AB	46,2	77
BC	152	0,8
CD	122	0,9
DE	48	1,8
EF	109	1,5
FG	128	1,5
GH	222	2
HI	32,6	90
Загалом	860	

Рис. 5. Система гірничих виробок для встановлення тимчасових кондицій мінеральної сировини на Вербинському рудопрояві

**Висновки.** Проведені дослідження обґрунтували міркування, щодо інструментів по встановленню тимчасових кондицій мінеральної сировини для Вербинського рудопрояву. Дослідженням встановлено що тимчасові кондиції доцільно визначити системою підземних виробок, а промисловий видобуток можливий відкритим (кар'єрним) способом. Також важливою обставиною ведення гірничих робіт є наявність радіоактивних мінералів на Вербинській ділянці, що потребує спеціального режиму їх проведення. Визначення тимчасових кондицій гірничими виробками дозволить переходити до наступного етапу вивчення рудопрояву – визначення запасів.

## Перелік посилань

1. *Investytsiynyi atlas nadrokorystuvacha. Verbynska dilianka z Verbynskym rudoproiovom* (2020). Kyiv : Derzhavna sluzhba heolohii ta nadr.
2. *Zvit pro poshuky rodovysch molibdenu v mezhakh Ustynivskoho rudnoho polia (dilianky Ustynivska, Vysoke, Richytsia) i poshukovo-otsinochni roboty na Verbynskomu rudoproiovi.* (2002). Kyiv : PDRHP "Pivnichheolohiia".
3. Miroshnykov, I., Cichoń, D., Shyrin, L., Dybrin, S., & Dychkovskiy, R. (2025). Ensuring the environmental sustainability of molybdenum ore mining. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1457(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1457/1/012014>
4. *Mineral commodity summaries 2024.* (2024). US Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/mcs2024>
5. Popoff, C. C. (1966). *Computing reserves of mineral deposits: principles and conventional methods (Vol. 8283).* US Department of the Interior, Bureau of Mines.
6. Zaharova, O. (1974). *Shlikhovi poshuky ta analizy shlikhiv.* Nedra.

## ABSTRACT

**Purpose.** To substantiate the reasoning that before establishing temporary conditions of mineral raw materials for the Verbynsky molybdenum ore occurrence.

**Research methodology.** The study was carried out using general scientific and special research methods - theoretical (analysis, explanation, generalization, comparison), technical and economic assessment and the brute force method.

**Research results.** The conducted research allowed to determine the optimal system of deposit development by a system of mining operations according to technical and economic considerations based on geological information from previous research periods and to establish the most influential modern factors of an ecological, legal and economic nature. The exceptional industrial importance of the mineral raw materials of the Verbynsky ore occurrence and the lack of alternatives to the complex mining of the deposit were substantiated. The radiation-hazardous location of the Verbynsky site was effectively included in the development system. The development system reflects a healthy mind and a careful, pragmatic approach.

**The originality.** For the first time, a development system has been substantiated for establishing conditions on a complex ore occurrence of a complex geological structure, the mountain massif of which has signs of endemism. Patterns have been established behind which targets have been found in the ore massif that represent promising locations. It has been established that the targets for certain purposes will be achieved.

**Practical value.** The data will be taken away to support the renewal of mining operations at the Verbynsky molybdenum ore occurrence after the long time stopped. The establishment of temporary conditions at this site will allow similar work to be carried out on other sites in the geological region. Proposals regarding the establishment of temporary conditions for complex bark digging in Ukraine are extremely rare, so the assessment of practical significance is considered to be more than average.

**Keywords:** *temporary conditions, complex mining, complex mineral, polymetallic ore, fluorite, zinnwaldite, lepidolite, chalcopyrite, gold, molybdenite, radon.*