

© І.О. Мірошников<sup>1</sup>

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

## СУЧАСНІ НАПРЯМИ ЗАСТОСУВАННЯ КІР ВИВІТРЮВАННЯ МОЛІБДЕНОВИХ РОДОВИЩ УКРАЇНИ

© I. Miroshnykov<sup>1</sup>

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

## CURRENT APPLICATION DIRECTIONS FOR THE WEATHERING RIND OF MOLYBDENUM DEPOSITS OF UKRAINE

**Мета.** Обґрунтування нового напрямку використання молібденових руд з кір вивітрювання родовищ України.

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

**Результати дослідження.** Проведені дослідження дозволили визначити основні світові підходи з видобутку та застосуванню молібдену в різних сферах промисловості. Обґрунтовано важливість потреби вітчизняної промисловості у молібденвмісних добривах. Виявлено причини, за якими сучасні світові методи з отримання молібденвмісних добрив є складними. З'ясовано, що сучасний видобуток молібдену відбувається з корінних руд, а спроби вилучення молібдену з вивітрілих руд вважаються не ефективними. Проведені дослідження вказують на значні площі кір вивітрювання в Україні, у тому числі на молібденових рудопроявах. Встановлено можливість використання таких кір вивітрювання як добрив безпосередньо, тобто минаючи традиційне отримання концентратів. Зниження дефіциту молібдену в українських посівних ґрунтах може бути досягнуте шляхом використання кори вивітрювання молібденових родовищ шляхом обміну ґрунтами між збагаченими ґрунтами локацій рудопроявів та виснаженими ґрунтами посівних полів.

**Наукова новизна.** Вперше встановлено закономірність відповідності гірничого поняття “значно вивітріла молібденвмісна руда” сільськогосподарському поняттю “забруднений молібденом ґрунт”. Підтверджено значні обсяги такої руди (ґрунтів) в Україні, а також досліджено наявність ознак перспективного ресурсу молібдену.

**Практичне значення.** Отримані дані дозволяють частково вирішити потреби України у молібдені, видобуток якого на даний час відсутній. Результати досліджень дозволили обґрунтувати напрям застосування молібденової кори вивітрювання для вітчизняної сільськогосподарської промисловості, що підвищує врожайність, якість аграрної продукції, посівні площі, надходження до бюджету валюти завдяки збільшенню експорту агропродукції, митних зборів та податків.

**Ключові слова:** молібден, молібденіт, видобуток молібдену, молібденові руди, молібденвмісні добрива, молібденова кора вивітрювання.

**Вступ.** Молібден – важлива сировина для промисловості. Видобуток молібденових руд в Україні відсутній. Законом України «Про внесення змін до Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року», передбачені масштабні пошуки та розвідка родовищ стратегічної та критичної сировини у т.ч. молібденових руд.

Особливістю молібденових рудних покладів України є наявність великої кількості рудопроявів і відсутність в їх числі середніх та великих родовищ. Відмінною ознакою українських молібденових рудопроявів є потужна стародавня кора вивітрювання, що зруйнувала кристалічну структуру верхніх частин рудних тіл. Замість оголених гір зручних для видобутку молібдену ми отримали велику площу посівних полів.

Означені обставини значно відрізняють нашу країну від багатьох інших. Умови залягання руд молібдену не збігаються з більшістю країн світу, які є лідерами видобутку молібдену. Відповідно, потрібен спосіб з видобутку молібдену, виходячи з української специфіки.

**Основна частина.** За даними ІМОА (Міжнародної молібденової асоціації) застосування молібдену у світі у 2022 році мало вигляд, зазначений у таблиці 1.

Таблиця 1

Застосування молібдену у світі у 2022 році

| Застосування          | Частка, % |
|-----------------------|-----------|
| Інженерні сталі       | 38        |
| Нержавіючі сталі      | 25        |
| Інструментальні сталі | 8         |
| Нікелеві сплави       | 3         |
| Ливарні заводи        | 8         |
| Хімічні речовини      | 13        |
| Металевий молібден    | 5         |
| Усього                | 100       |

Головним напрямом застосування молібдену у світі є сталеливарна промисловість. Головне надходження молібдену відбувається від видобутку молібденових руд, що на 98 % відбувається за рахунок розробки корінних молібденітових руд [1].

Другим за обсягом постачання джерелом є металевий молібденвмісний брухт від машин та конструкцій, термін використання у яких вичерпався. Відповідно до [2] кількість молібдену, що циркулює як брухт, може становити до 30 % уявної пропозиції молібдену. Вилучення молібдену з брухту у світовій промисловості не відбувається з причини негативної рентабельності.

Металевий молібденвмісний брухт є джерелом не тільки молібдену, а також, у багатьох випадках, нікелю та хрому. Також до складу молібденового брухту можуть входити ванадій, мідь, кобальт, вольфрам та інше.

Великі обсяги виробництва молібденових сталей відбуваються в країнах з розвинутим машинобудуванням. Чого не можна сказати про видобуток молібдену з руд.

У таблиці 2 наведені обсяги світового видобутку молібдену з руд у 2002 році згідно з [2].

Таблиця 2

Приблизний світовий видобуток молібденових руд у 2002 році

| Країна                         | Видобуток молібдену, т (наведено до змісту молібдену в руді) |
|--------------------------------|--|
| Вірменія                       | 7 800  |
| Канада                         | 970  |
| Чилі                           | 44 000   |
| Китай                          | 100 000  |
| Іран                           | 3 500  |
| Південна Корея                 | 400  |
| Мексика                        | 16000  |
| Монголія                       | 2300   |
| Перу                           | 32 000   |
| США                            | 42 000   |
| Узбекистан                     | 1 600  |
| Світовий видобуток (приблизно) | 250 000  |

З табл. 2 можна зробити наступні висновки:

– в межах території Європи відсутній видобуток молібдену з руд. Вірменія на політичній карті знаходиться в Європі, але на географічній карті – в Азії;

– в деяких країнах з розвинутим машинобудуванням видобуток з руд відсутній і вони імпортують молібденові концентрати або використовують власний та імпортований молібденвмісний брукт. Це відноситься до таких країн як Японія, Велика Британія, Німеччина, Франція, Індія, Бразилія, Південно-Африканська Республіка, Туреччина.

Шляхів від молібденітової руди до кінцевої продукції згідно з [3] існує декілька (рис. 1).

Особливість промисловості України полягає в тому, що її головною галуззю економіки є сільське господарство. Згідно з інформацією Державної служби статистики України, посівні площі України (2020 р.) становили 27,974 млн га. Особливо важливою вітчизняною потребою постає застосування молібденвмісних добрив. Як можна побачити зі схеми на рис. 1, традиційними молібденовими добривами є амонію молібдат, натрію молібдат та похідні з них.

Молібденові добрива ще понад 50 років тому позитивно зарекомендували себе на полях світу та України для збільшення врожайності та якості продукції рослинництва. Також молібден покращує показники тваринництва. В Україні не видобувають молібденові руди й це значно стримує сільське господарство. Ще одним зі стримуючих факторів є ціна молібденових добрив, яка з одного боку висока за відсутності видобутку, а з іншого – через дорожнечу видобутку та вилучення.

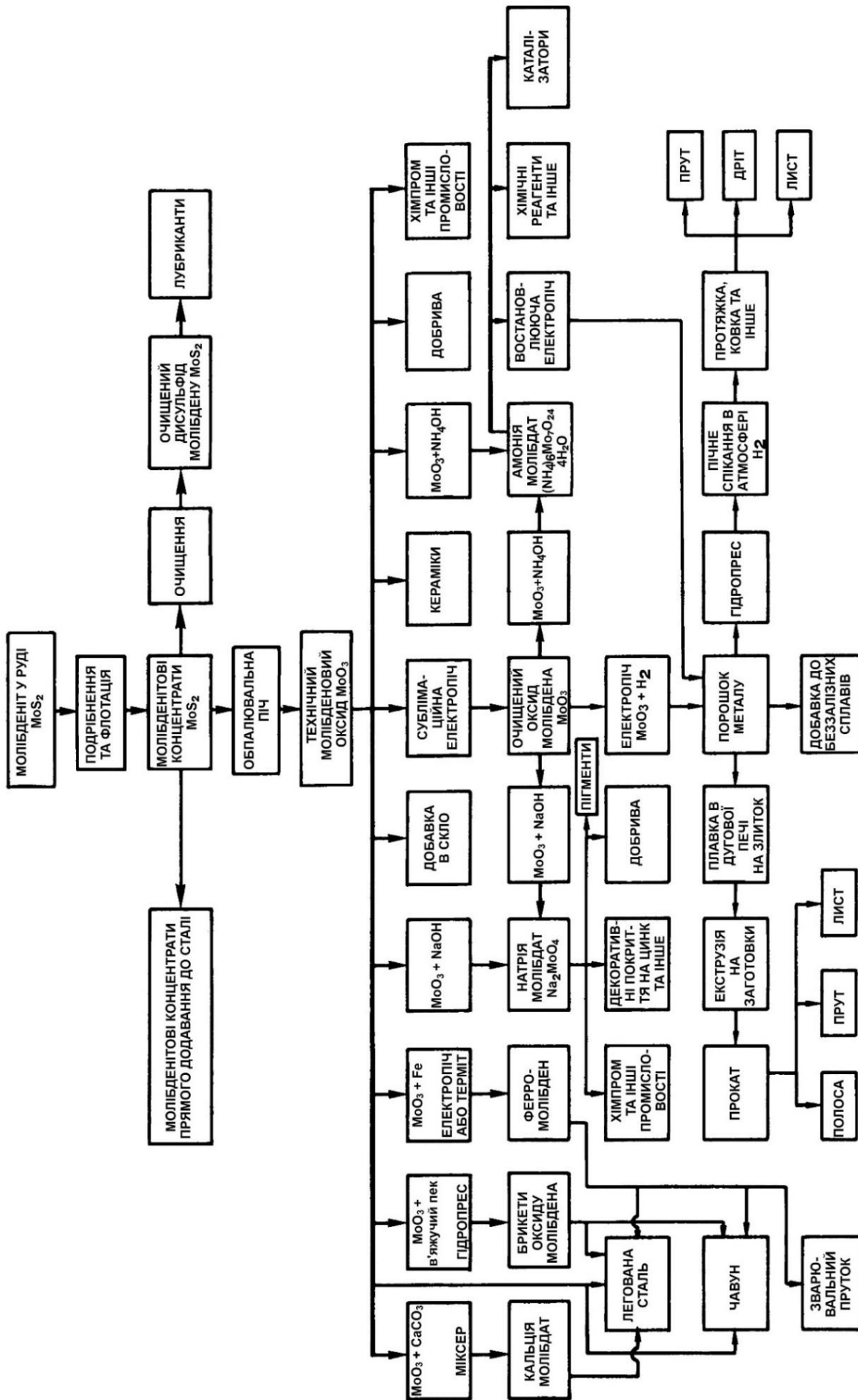


Рис. 1. Основні комерційні форми та кінцеве використання молібдену [3]

Молібденові мінерали не утворюють великих рудних молібденітових скупчень. Згідно зі звітом компанії FCX за 2022 рік [4] – одного з лідерів світу з видобутку молібдену, показники беззбитковості рудних комплексів FCX, в яких молібденіт є основною корисною складовою становили для підземного видобутку 0,13 % молібденіту в руді, а для відкритого видобутку 0,05 % молібденіту в руді. Можна стверджувати, що завдяки бідності молібденітових руд та технологічної складності їх перероблювання на добрива є проблематичним отримання дешевих молібденових добрив.

Специфічною особливістю України є наявність багатьох вивітрілих корінних молібденових руд. У той час як світові тенденції до видобутку молібдену представлені молібденітом.

Молібденіт  $\text{MoS}_2$  – це первинний сульфідний мінерал, який вдається промислово рентабельно вилучати з руди завдяки технології флотації, яка базується на властивості його поганій змочуваності. У випадках, коли молібденіт втрачає сірку, він також втрачає властивості змочуваності. У природі випадки втрати сірки відбуваються під впливом різних обставин, головними з яких буде довготривале окислення повітрям. Окислені молібденові руди продовжують бути ресурсом молібдену, але вилучення молібдену з них є ускладненим.

Згідно з проведеними дрібномасштабними промисловими дослідженнями [5, 6] вилучення з окислених руд можливо вилуговуванням та осадженням молібденових сполук з розчину. Вказані дослідження мали технічний успіх, але рентабельність такого вилучення значно поступалась традиційній технології флотації молібденіту.

Можна стверджувати, що людство не має інструментів для ефективного вилучення молібдену з вивітрілих мінералів. Але такі інструменти наявні в рослинах та в мікроорганізмах, що населяють ґрунт.

Згідно з [7], в 1974 році український автор вказував: «територія Українського щита стала ареною інтенсивного стародавнього вивітрювання магматичних та метаморфічних порід докембрію. Сформована потужна, переважно каолінова кора вивітрювання суцільним чохлам покривала цей регіон, що займає третину території республіки (200 тис. км<sup>2</sup>). Мінеральний склад окремих зон кори вивітрювання зумовлений, переважно, складом материнських порід».

Можна стверджувати, що посівні площі України збігаються з верхніми шарами кори вивітрювання та аграрний термін «ґрунт» – це повна відповідність геологічному поняттю «значно зруйнована верхня частина кори вивітрювання».

Сільське господарське рослинництво змінює мінеральний склад кори вивітрювання і в такому випадку аграрії вказують, що ґрунт виснажився. Виснажений ґрунт потребує добрив для отримання врожаїв, бо відбувається перенесення складових ґрунту в тканини рослин. У дикій природі ґрунт майже не виснажується, бо при відмиранні рослин складові рослин повертаються в ґрунт. Ймовірно, навіть якщо пройде мільйони років, то елементний склад ґрунту збе-

режеться, зміниться тільки його мінеральна складова. Але у випадку сільського господарства складові частини рослин (зерно, солома та ін.) забирають від материнського ґрунту і це виснажує ґрунт.

Можна стверджувати, що материнські породи за складом різні, але незалежно від складу руйнуються всі. У випадку руйнування молібденітових руд утворюються ореоли розсіювання.

Кори вивітрювання України активно вивчались. Згідно з [7–9] цілями вивчення були родовища каоліну, який є джерелом дешевої важливої господарчої сировини. Через присутність у каоліні мінералів заліза та кварцу змінюється напрям використання каоліну. Другою ціллю вивчення був пошук розсипних родовищ тих металів, які традиційно для світової практики видобувають з розсипів. Третьою ціллю можна вважати пошук корінних руд, в якому складові кори вивітрювання виступають пошуковою ознакою виходу корінних порід на земну поверхню.

При вивченні геологічної будови Вербинського молібденового рудопрояву в Житомирській області проводилися дослідження кори вивітрювання на вторинну мінералізацією [10]. Корінні інтрузивні породи Вербинського рудопрояву мають вік  $1995 \pm 10$  млн років за ізотопно-геохронологічними дослідженнями, а за іншими даними їх вік складає  $1230 \div 1300$  млн років.

Ореоли вторинної мінералізації Вербинського рудопрояву Житомирської області (рис. 2) переважно представляли лісові дерново-підзолисті ґрунти.

Розбурювання кори вивітрювання свердловинами глибиною від 1 до 16 метрів та спектральний аналіз виявили літохімічні аномалії подекуди з вмістом молібдену  $500 \div 600$  г/т. Аномальні вмісти завірялися рентгено-радіометричним аналізом.

Отже, з аналізу Вербинського рудопрояву можна зробити наступні висновки:

- часу для значного руйнування корінних руд, що вийшли на денну поверхню, було цілком достатньо для перетворення їх у дерново-підзолисті ґрунти;
- з точки зору гірництва, ореол з вмістом молібдену  $500 \div 600$  г/т ( $500 \div 600$  мг/кг ґрунту) це багатий розсипний рудопрояв з формою мінералізації, не цікавою для вилучання сучасними технологічними методами.

У Наказі №536 Міністерства аграрної політики та продовольства України від 11.10.2011 р. вказується, що рухома форма молібдену є одним з показників стану ґрунту, що підлягає відстеженню шляхом ведення агрохімічного паспорта поля.

Згідно з нормативами гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах відповідно до Постанови Кабінету міністрів України №1325 від 15.12.2021 р. гранично допустима концентрація рухомої форми молібдену в ґрунтах становить 10 мг/кг ґрунту.

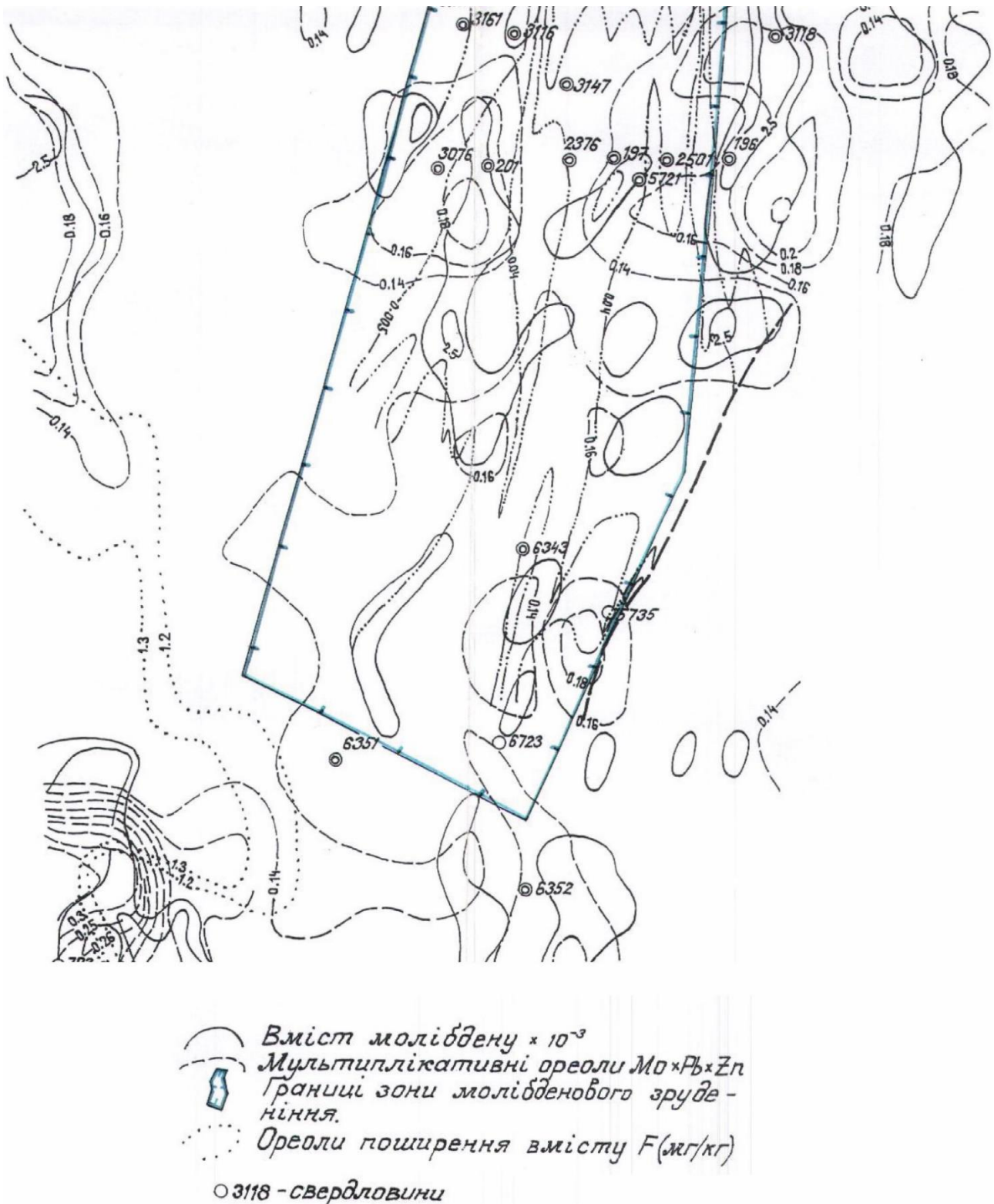


Рис. 2. Ореоли мінералізації кори вивітрювання Вербинського рудопрояву в Житомирській області [10]

Отже, з аналізу вимог Наказу №536 і Постанови №1325 можна зробити наступні висновки:

– молібдену в ґрунтах приділяється багато уваги з боку держави, бо він, з одного боку, є корисним для розвитку рослин, тому існують промислові

молібденвмісні добрива. З іншого боку, великі концентрації молібдену забруднюють ґрунти, перешкоджають розвитку рослин, тварин, людей і тому існують нормативи контролю довкілля підприємств з видобутку та перероблення корисних копалин;

– ґрунти України мають локації з дефіцитом та локації з надлишком молібдену. Хоча частка рухомого молібдену у валовій формі потребує окремих досліджень, але цілком зрозуміло, що ореоли мінералізації кори вивітрювання молібденових родовищ являють собою ґрунти малоприсадибні для аграрного виробництва та в цьому випадку молібден виступає як речовина що забруднює;

– бідні на молібден та інші елементи українські ґрунти відомі з агрохімічних паспортів полів. Відомі аграріям і профіцитні ґрунти, але частково з означених паспортів;

– до достовірних джерел інформації з профіцитних ґрунтів можна віднести геологічні звіти. Однак, аграрії традиційно вважають таку інформацію не потрібною;

– цілком логічним видається вдобрювання одних ґрунтів іншими залежно, від вмісту молібдену в обох ґрунтах.

В Україні налічується близько ста рудопроявів молібдену. Видобуток з корінних руд потребує багато часу для побудови підприємств. Навіть при швидких темпах час на будівництво традиційного підземного молібденового рудного комплексу складає 7 років, а традиційного рудника відкритого способу видобутку – 3 роки [3]. Це пояснюється складністю проектування, виготовлення, встановлення та налагодження обладнання, до якого належать дробарки та флотомашини, системи водопостачання.

На прикладі Вербинського рудопрояву було визначено, що верхній шар кори вивітрювання досліджувався з використанням торфобуру та мотобуру. Тобто її механічний стан відповідає вкрай руйнівному стану та не потребує дробарок, водопроводів для технології флотації.

Відомо, що внесення традиційних промислових молібденових добрив в ґрунти з дефіцитом молібдену виконується з розрахунку близько 1÷2 кг молібдену на гектар. Слід очікувати, що 20 т ґрунту з вмістом молібдену 500÷600 г/т, вилученого на рудопрояві, вистачить для усунення дефіциту молібдену на посівній площі до 10 гектар.

Отже, з аналізу, що порівнює відмінності з видобутку корінних і вивітрілих руд України можна зробити наступні висновки:

– в Україні існує потенціал у використанні корінних руд та молібденової кори вивітрювання;

– на відміну від видобутку з корінних руд, при видобутку вивітрілих руд усувається потреба у відчуження землі, яка традиційна характерна для розробки корінних руд, часу та інвестицій знадобиться значно менше;

– показник беззбитковості при видобутку вивітрілих молібденових руд для вдобрювання поки що має зовсім незрозумілу величину за обставин відсутності світових прикладів такого видобутку. Необхідні різнобічні дослідження з його встановленню. Відсутнє навіть уявлення про приналежність такого товару до



класифікації товарів. Без такої приналежності облік та оподаткування не можливі. Тобто, з одного боку, аграрії придбають молібденову руду для ведення своєї діяльності і цей факт є нонсенсом, бо до теперішнього часу землероби не виступали покупцями руди. З іншого боку, аграрії придбають ґрунт для ведення своєї діяльності й цей факт теж є нонсенсом. До теперішнього часу ґрунт не був товаром, а в законодавчій базі відсутні як заборона, так і дозвіл закупівель ґрунту та, тим паче, обмін ґрунтами. З третього боку, використання вивітрілих молібденових руд є – використанням надр. Українські надра належать українському народу і їх використання належить для правового державного регулювання, яке з такими обставинами використання не стикалося. З четвертого боку, вивітрілі молібденові руди – це новий вид добрива. Добриво як кожна продукція відрізняється за якістю по показниками. Показники якості встановлюються державними стандартами та обов'язкові для виконання виробниками, це забезпечує права споживача на отримання якісної продукції. Зараз стандарти для такої продукції відсутні. Спосіб внесення добрива має бути якісним, тобто безпечним, дешевим, надійним, технічно простим та рекомендованим спеціалізованою науково-дослідною організацією. Ці рекомендації зараз відсутні, бо це добриво є новим;

– відсутність сучасного уявлення про показник безбитковості при видобутку вивітрілих молібденових руд для вдобрювання стримує гірничі пропозиції щодо способів розробки видобутку таких руд.

Продовження детального дослідження планується з профільною установою. В Україні головним профільним підприємством є Державна установа "Інститут охорони ґрунтів України", одним з предметів діяльності якої є науково-методичне та організаційне забезпечення державного моніторингу ґрунтів і агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення, заходів щодо збереження, відтворення, охорони родючості ґрунтів, а також визначення якості та безпечності продукції, сировини, агрохімікатів.

**Висновки.** Аналіз наявних уявлень про потребу молібдену для різних видів промисловості країн світу дозволив розвинути погляди на розширення номенклатури традиційної молібденової сировини, що являє собою новий напрямок у застосуванні гірських порід молібденових рудопроявів.

Для нормалізації ґрунтів України за вмістом молібдену та покращення становища сільськогосподарської промисловості знадобиться частковий обмін ґрунтами різних локацій. У результаті чого, малопридатні ґрунти стануть більш придатними для аграріїв, зростуть площа посівів, кількість та якість врожаїв. Враховуючи велику складову української аграрної продукції, яка йде на експорт, слід очікувати зростання валютних надходжень, митних зборів та податків.

Запропоновано новий ресурсощадний підхід до видобутку молібденових руд, що поєднує відтворення проблемних за родючістю ґрунтів України. Він являє собою найкоротший з усіх відомих шляхів від рудної маси до добрива, минаючи стадію промислового вилучення цільового елемента з руди. Такий підхід до видобутку молібдену є новітнім у світовій практиці та абсолютно екологічним. Розкривається потенціал, що поєднає вітчизняні надра, науку і технології. За

аналогією може бути використано кору вивітрювання, утворену ореолами інших аграрно важливих руд, наприклад, кобальту, міді, марганцю, цинку та інших.

#### Перелік посилань

1. *Application of the mongolia's mineral wealth and deposit resources classification to the type of mineral. methods recommendation (molybdenum)*. (2021). Ulaanbaatar: Ministry of mining and heavy industry, mineral and petroleum Department.
2. *Mineral commodity summaries 2023*. (2023). Reston: U.S. Geological Survey.
3. *Mineral facts and problems, 1975 edition*. (1976). Washington: U.S. Govt. Print. Off.
4. *Annual report pursuant to section 13 or 15 (d) of the securities exchange act of 1934 for the fiscal year ended December 31, 2022. Freeport-McMoRan Inc. (Exact name of registrant as specified in its charter)*. (2023). Washington: United states securities and exchange commission.
5. *Research and process investigations on lakeview ore, Lake county, Oreg.* (1957). Utah: Inter-mountain Experiment Station 1600 East 1st South Salt Lake City 12.
6. Chakhkalian, F. (1969). *Molibden (syrovynna baza ta tekhniko-ekonomichni pokaznyky vyrobnytstva)*. Yerevan: Derzhplan Rady Ministriv Virmenskoï RSR. *Virmenskyi naukovo-doslidnyi instytut naukovo-tekhnichnoi informatsii ta tekhniko-ekonomichnykh doslidzhen*.
7. Rusko, Y. (1974). *Kaolinova kora vyvitriuvannia Ukrainskoho shchyta (mineralohiia ta henezys): doctoral dissertation*. Kyiv.
8. Pogrebnoi, V. (1971). Kory vyvitriuvannia na terytorii URSR. *Chastyna 2. Tematychnyi zbirnyk Naukovoï rady z problemy "Heokhimiia zemnoi kory ta zakonmirnosti rudoutvorennia"*, 44–58.
9. Buchynska, N. (1972). *Starodavnia kora vyvitriuvannia pivnichno-zakhidnoi chastyny Ukrainskoho shchyta*. Kyiv: Instytut heolohichnykh nauk AN URSR.
10. *Zvit pro poshuky rodovyshch molibdenu v mezhakh Ustynivskoho rudnogo polia (dilianky Ustynivska, Vysoke, Richytsia) i poshukovo-otsinichni roboty na Verbynskomu rudoproïavi*. (2002). Kyiv: PDRHP "Pivnichheolohiia".

#### ABSTRACT

**Purpose.** Justification of the new direction of using molybdenum ores from weathering rind of deposits of Ukraine.

**Research methodology.** The research was carried out by general scientific and special research methods – theoretical (analysis, explanation, generalization, comparison), technical and economic evaluation.

**Research results.** The conducted research made it possible to determine the main global approaches to the extraction and application of molybdenum in various areas of industry. The importance of the domestic industry's need for molybdenum-containing fertilizers is substantiated. The reasons why modern global methods for obtaining molybdenum-containing fertilizers are difficult have been revealed. It has been found that modern extraction of molybdenum occurs from native ores, and attempts to extract molybdenum from weathered ores are considered ineffective. The conducted studies indicate significant areas of weathering rinds in Ukraine, including on molybdenum ore occurrences. It is possible to use such weathering rinds as fertilizers directly, that is, bypassing the traditional production of concentrates. The reduction of molybdenum deficiency in Ukrainian arable soils can be achieved by using the weathering crust of molybdenum ore occurrences by soil exchange between enriched soils of ore deposit locations and depleted soils of seeded fields.

**The originality.** For the first time, the regularity of correspondence between the mining term "significantly weathered molybdenum-containing ore" and the agricultural term "molybdenum-contaminated soil" was established. Significant volumes of such ore (soil) in Ukraine were confirmed, and the presence of signs of a promising molybdenum resource in it was also investigated.

**Practical value.** The obtained data make it possible to partially solve the needs of Ukraine in molybdenum, which is currently not mined. The results of the research made it possible to substantiate the direction of the application of molybdenum weathering crust for the domestic agricultural industry, which increases the yield, quality of agricultural products, cultivated areas, income to the foreign currency budget due to the increase in the export of agricultural products, customs duties and taxes.

**Keywords:** *molybdenum, molybdenite, molybdenum mining, molybdenum ores, molybdenum-containing fertilizers, molybdenum rind weathering.*