

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.1.218032>
УДК 553.04

Н.М. ЛИЖАЧЕНКО

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна
E-mail: albeet@ukr.net

АНАЛІЗ МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННОЇ БАЗИ ГРАФІТУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДИК ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ

Проведено аналіз мінерально-сировинної бази графіту Українського щита з використанням методик геолого-економічної оцінки та окреслено напрями її раціонального освоєння. Визначено основні проблеми розвитку мінерально-сировинної бази графіту в сучасних умовах. Охарактеризовано геологічні та технологічні фактори економічної цінності родовищ та проявів графіту. Запропоновано методика порівняльної оцінки покладів графіту, що дає змогу встановити найбільш перспективні для подальшої розвідки об'єкти на початкових стадіях вивчення надр. Аналіз включає основні геолого-економічні, технологічні та промислові фактори економічної цінності покладів даного типу мінеральної сировини, такі як запаси/ресурси, вміст графіту в рудах, глибина залягання руд, ступінь вивченості та група складності покладу та ін. В роботі використано методика експрес-оцінки вартості корисних копалин при визначенні потенційної економічної цінності об'єктів та методика бальної оцінки. На першому етапі родовища та прояви, що враховані державним балансом, були проранжовані за геолого-промисловими параметрами. Кожен з параметрів було оцінено за бальною шкалою відповідно до підвищення його якісних характеристик. Кількість балів, що отримані для родовищ графіту з доведеною ефективністю освоєння (Буртинське, Балахівське) та для родовища, що розробляється (Завалівське), використані в якості оптимальних показників. Згідно з ними були обрані найбільш перспективні для подальшої розвідки прояви графіту за промисловими показниками. Товарна вартість цих покладів була обрахована за методикою перевідних коефіцієнтів. Результати підрахунку також були враховані при визначенні найбільш перспективних для інвестування покладів. За отриманими даними побудовано карту графітоносності Українського щита з виділенням потенційно перспективних об'єктів.

Ключові слова: графіт; родовище; запаси; ресурси; Український щит.

Вступ

Аналіз стану мінерально-сировинної бази (МСБ) окремих видів корисних копалин є одним з етапів переоцінки ресурсів, яка передбачає «...одержання даних про ресурсний потенціал країни, вироблення стратегічних рішень щодо розширення МСБ, оптимізації процесу надро-

користування і формування інвестиційної політики, визначення напрямків першочергових геологорозвідувальних робіт» (Методичні..., 2009, с. 26). Україна характеризується потужною МСБ, в основі якої понад 120 видів корисних копалин, проте напрями її раціонального освоєння та перспективи нарощення досі не визначені.

Цитування: Лижаченко Н.М. Аналіз мінерально-сировинної бази графіту Українського щита з використанням методик геолого-економічної оцінки. *Геологічний журнал*. 2021. № 1 (374). С. 70—80. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.1.218032>

Citation: Lyzhachenko N.M., 2021. Analysis of graphite mineral-row material base of the Ukrainian shield using economic methods. *Geological Journal (Ukraine)*, No. 1 (374), pp. 70-80. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.1.218032>

На сучасному етапі подальший розвиток вітчизняної МСБ потребує залучення інвестицій як у родовища, зокрема відтворення їх запасів, так й в об'єкти надрокористування, що перебувають на стадії геологорозвідувальних робіт. Першочерговість таких об'єктів для інвестицій доцільно визначати за результатами відповідної оцінки (ранжування) за природними та промисловими критеріями, які визначають економічну цінність родовищ та проявів конкретного типу корисних копалин (Михайлов та ін., 2017). До головних параметрів оцінки можна віднести такі: ступінь геологічного і техніко-економічного вивчення родовищ згідно з вітчизняними і міжнародними стандартами; геолого-промисловий тип родовища, вміст корисного компонента в геологічних запасах, складність геологічної будови родовища; масштаби розвіданих запасів, геометричні параметри рудних тіл (форма, розмір, потужність, витриманість), якість корисної копалини, комплексність родовища і вміст супутніх компонентів, наявність шкідливих домішок, гірничотехнічні умови експлуатації; технологічні властивості сировини тощо. За визначеним переліком ознак класифікації і ранжування (який можна розширювати і змінювати в залежності від видів корисних копалин) можливе моделювання «інвестиційної привабливості», що враховує наявність позитивних ознак та вагу кожного фактора для обраних об'єктів надрокористування (Лижаченко, 2012; Михайлов та ін., 2017).

Однією з економічних методик зіставлення об'єктів з різним ступенем техніко-економічного вивчення є методика бальної оцінки. Основною вимогою, що має бути збережена при використанні даної методики, є належність об'єктів ранжування до єдиного геолого-промислового типу. Послідовність застосування методики бальної оцінки відповідає таким етапам: 1) виділення головних показників, які визначають промислову цінність родовищ та проявів певного виду сировини; 2) проведення градації показників та присвоєння їм відповідної кількості балів; 3) нарахування балів за виділеними показниками для всіх об'єктів, що оцінюються; 4) підсумкова бальна оцінка та ранжування об'єктів за отриманими балами; 5) виділення перспективних об'єктів для промислового освоєння (Андрєєва, Лижаченко, 2014). При застосуванні методу бальної оцінки

для родовищ графіту як основні параметри використані запаси корисної копалини, вміст корисного компонента в рудах, глибина залягання руд, ступінь геологічного вивчення об'єкта, технологічні властивості руд, складність геологічної будови. Вибір параметрів ранжування ґрунтується на аналізі техніко-економічних показників розробки родовищ даного типу корисних копалин. Для кожного показника умовно проведено градацію за п'ятибальною шкалою. При розподілі показників у межах шкали визначаються граничні (мінімальні та максимальні) значення по кожному з обраних показників, які відповідно до своїх якісних характеристик рівномірно розподіляються в межах шкали.

Попередні дослідження та актуальні проблеми

Перша масштабна робота з геолого-економічної оцінки графітоносності Українського щита (УЩ) проведена Центральною тематичною експедицією Міністерства геології СРСР у 1981 р. (М.Ф. Таранюк та ін.), у якій надано геолого-економічний огляд графітоносності УЩ. Основні геологорозвідувальні роботи були виконані до 90-х років ХХ ст. і базувались на методиці оцінки родовищ та проявів планово-адміністративної системи. Із вступом в силу ринково-економічних методологій оцінки та переоцінки корисних копалин змінився підхід до методики підрахунку запасів, встановлено вимоги до техніко-економічних показників розробки родовища та якості корисних копалин і продукції на їх основі (ДСТУ). Тож наразі промислова значущість багатьох об'єктів МСБ графіту, геолого-економічна оцінка яких була проведена в другій половині минулого століття, є спірною (Маріупольське, Троїцьке родовища) (Лижаченко, 2012; Загнітко, Лижаченко, 2012).

На противагу цьому, розвідані порівняно нещодавно, у відповідності до затверджених Державною комісією України по запасах корисних копалин кондиціях до глибини 150 м, запаси графітової руди Балахівського та Буртинського родовищ становлять найбільший графіторудний потенціал держави і є своєрідними «орієнтирами» при проведенні аналогій з раніше розвіданими покладами. Попередні-

ми роботами (Михайлов та ін., 2017) визначена висока інвестиційна привабливість родовищ графіту в числі об'єктів мінерально-сировинного комплексу України, а ризики інвестицій окреслені на рівні менше 30 %. Наразі державним балансом враховані шість родовищ та близько 47 рудопроявів графіту.

З огляду на нові підходи та загальні світові тенденції щодо класифікації та оцінки покладів корисних копалин в умовах переходу до ринкової економіки постає необхідність аналізу МСБ з метою оптимізації витрат на проведення геологорозвідувальних робіт, раціонального цільового направлення коштів на розвідку чи розробку потенційно перспективних об'єктів, створення завершеної картини загального стану МСБ певного виду корисної копалини та окреслення шляхів її відтворення на підставі комплексних геолого-економічних характеристик об'єктів.

Цілі та методика дослідження

Основне завдання роботи — провести аналіз МСБ графіту УЩ з використанням порівняльних методів геолого-економічної оцінки, виконати прогноз можливого економічного значення родовищ та проявів на основі сучасних методик геолого-економічної оцінки, визначити об'єкти, що становлять практичний інтерес. Основні вихідні дані по проявах та родовищах (запаси, геологічні показники залягання, вміст графіту тощо) отримано з фондових даних. Як вже зазначалося, можливість виділити найбільш перспективні для подальшої розвідки та розробки поклади та порівнювати їх з урахуванням ступеня їх вивченості завдячує використанню методик геолого-економічної оцінки, як, наприклад, методики бальної оцінки (Овчаренко, Герасимов, 2002), що враховує зазначені вище геологічні фактори, а також методики перевідних коефіцієнтів (Неженский, 2003), що дає змогу надати вартісну характеристику покладу. Родовища та прояви, які залучені до аналізу, наведені в табл. 1.

Геологічні і технологічні фактори економічної цінності родовищ і проявів графіту

Довгострокове державне та комерційне планування повинне ґрунтуватись на постійній переоцінці ресурсів у світлі нових геологічних

знань, прогресу в науці і техніці та зміні економічних і політичних умов. Для цього відомі ресурси слід класифікувати з двох точок зору: суто геологічних характеристик покладу (якість, тоннаж, товщина і глибина залягання) та економічної доцільності їх видобутку в певний час (Методичні..., 2009). Як зазначається в (Методичні..., 2009), одним з основних принципів роботи з родовищами та прогнозними об'єктами є послідовний вибір з великої кількості об'єктів тих, що становлять практичний інтерес. Цінність покладів визначають чинники, які всебічно характеризують їх переваги та недоліки (Рудько та ін., 2002). Вирішальними факторами при цьому є особливості геологічної будови покладів, їх потужність та характер розподілу в них рудної мінералізації тощо.

Доцільність промислового освоєння графітових родовищ визначається рядом показників, від яких залежить обсяг витрат на видобування корисних копалин, облаштування родовища, умови збагачення, а отже, і собівартість продукції. Такими показниками, як показує аналіз науково-технічної літератури, довідкових матеріалів, інструкцій, нормативно-правових актів ДКЗ та досвід функціонування збагачувального підприємства (Завалівський графітовий комбінат), є такі:

1. Вміст корисного компонента в рудах та загальні запаси родовища. Високий вміст графіту є основним якісним показником покладу (рис. 1). Від вмісту в руді графіту залежить вихід концентрату при збагаченні, що, в свою чергу, впливає на собівартість продукції. Статистична обробка даних по середньому вмісту графіту в рудах УЩ визначає його на рівні 5,7 % (рис. 2).

2. Технологічні властивості, що визначаються структурною характеристикою руд (пухкі, напівпухкі, щільні) та типом графіту (лускатий, щільнокристалічний, прихованокристалічний).

Характер руд та тип графіту є показниками, що впливають на збагачення руд. Руди графітових родовищ України збагачуються переважно флотацією, що дає можливість збагачувати руди з вмістом графіту 3—5 %. При цьому флотаційні властивості графіту залежать від структури: кристалічні та лускаті графіти флотуються легко, тоді як прихованокристалічні погано. Найкраще збагачуваними є лускуваті

руди, в яких графіт знаходиться у вигляді окремих кристалів у формі лусок розміром до декількох міліметрів. Флотація щільнокристалічних руд здійснюється майже так само, як і лускатих, але з меншою швидкістю, що зумовлено наявністю у них деякої кількості зерен прихованокристалічного графіту (до 15—25 %), який повільніше флотується і вимагає більш тонкого подрібнення. Тип руд визначається за природними особливостями і залежить від ступеня вторинної зміни порід та їх мінерального складу (Лижаченко, 2013). Для родовищ УЩ, що віднесені до метаморфічного геолого-промислового типу, досить характерним є широкий розвиток кір вивітрювання лінійного та площинного типів. Таким чином, як з глибиною, так і по літералі мінеральний склад та фізичні властивості руд, від яких залежить послідовність флотаційного процесу, змінюються. У зв'язку з цим виділено три основних промислових типи руд: пухкі, напівпухкі та щільні. Найлегше збагачуються рихлі (вивітрілі) руди. Режим флотаційного процесу залежить від мінерального складу (наявність гіпер-

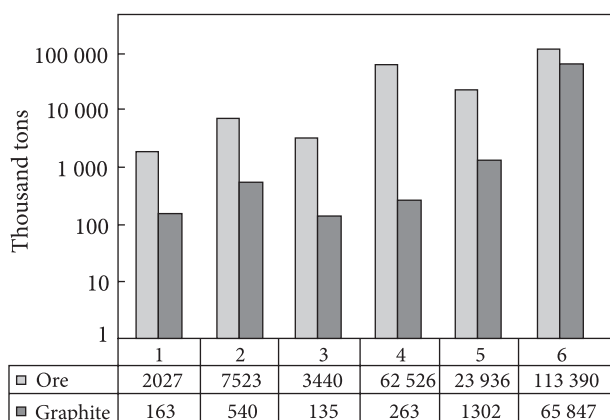


Рис. 1. Запаси графіту та вміст графіту в руді. Родовища: 1 — Троїцьке, 2 — Петрівське, 3 — Маріупольське, 4 — Завалівське, 5 — Балахівське, 6 — Буртинське

Fig. 1. Graphite reserves and the graphite content in the ore. Deposits: 1 — Troitske, 2 — Petrivske, 3 — Mariupol, 4 — Zavalivske, 5 — Balakhivske, 6 — Burtynske

генних мінералів: наприклад, наявність окислів у рудах знижує гідрофобні властивості графіту в процесі флотації, ускладнюючи збагачення), структурних особливостей (графіт перебуває в зростках з іншими мінералами або

Таблиця 1. Родовища та прояви графіту УЩ, залучені до порівняння

Table 1. Deposits and occurrences of graphite of the Ukrainian shield involved in the comparison

Район №	Родовище/прояв						
	Волинський	№	Побузький	№	Криворізький	№	Приазовський
1	Діл. Лісова	1	Богослівський	1	Бабенківський	1	Вишняківський
2	Діл. Майданська	2	Вільшанський	2	Діл. Північна	2	Каратюцький
3	Діл. Півн.-Західна	3	Воєводський	3	Більшоводянський	3	Комишуватський
4	Діл. Хмелівська	4	Врадіївський	4	Варварівський	4	Сачкинський
5	В'юнківський	5	Демовярський	5	Водянський	5	Сухоташилицький
6	Дениші	6	Дубинівський	6	Зеленівський	6	Темрюцький
7	Забарівський	7	Олександрівський	7	Кодацький	7	Троїцьке
8	Городнявський	8	Міжріченський	8	Балахівське	8	Маріупольське
9	Зарудинецький	9	Павлівський	9	Петровське		
10	Костянтинівський	10	Хашуватський				
11	Майданвільський	11	Рогівський				
12	Махаринецький	12	Сабатинівський				
13	Пединський	13	Синицівський				
14	Сальницький	14	Скалівський				
15	Шереметівський	15	Ставківський				
16	Яблунівський	16	Савранський				
17	Буртинське	17	Троянський				
		18	Шамраївський				
		19	Завалівське				
	30,4 % *		33,9 % *		16,1 % *		14,3 % *

* Відсоток по рудному району від загальної кількості об'єктів, прийнятих до розрахунку (56 об'єктів — 100 %).

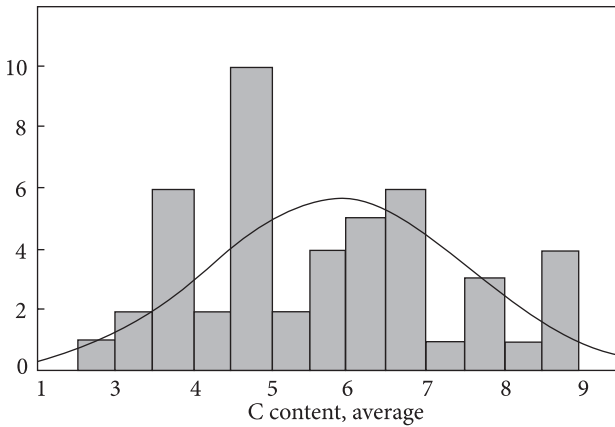


Рис. 2. Гістограма розподілу вмісту графіту в рудах УЩ, що визначає середній вміст для щита близько 6 %. В нижній частині — вміст графіту (від 2 до 10 %), по вертикалі — кількість об'єктів з відповідним вмістом графіту

Fig. 2. Histogram of the distribution of graphite content in the ores of the Ukrainian Shield, which shows an average content close to 6%. Below — graphite content (2 to 10%), vertically — the number of objects with the appropriate content of graphite

вивільнений в результаті їх руйнування) та фізико-механічного стану руд (тріщинуватість) і визначається після лабораторно-технічних і напівпромислових випробувань руд. Так, наявність карбонатних домішок впливає на швидкість та порядок складових ступенів флоатації, а піритизація руд знижує якість флоатації. Кінцевим етапом флоатаційного процесу є марочна класифікація концентрату згідно з ДСТУ. Насамперед оцінюється вихід крупнолускатого (тигельного) графіту. За ДСТУ 17022-81, вміст класу +0,2 мм у тигельному графіті повинен бути не менше 75 %. Решта концентрату розподіляється за зольністю, фізико-хімічними показниками та класом крупності.

3. Глибина залягання руд. Значну частку в структурі витрат, як показує досвід функціонування гірничо-збагачувального комбінату та техніко-економічні розрахунки, займає розробка порід розкриття (Лижаченко, 2012). Від даного показника залежить і спосіб розробки руд. Найбільш економічно вигідною є відкрита розробка.

4. Складність геологічної будови. Даний параметр визначає перш за все розмір та характер коливання потужності покладу, мінливість речовинного складу руд у просторі (зміна вмісту графіту в руді), морфологію рудних тіл. Чим

складнішими є дані параметри, тим складніші умови розвідки та розробки родовища.

Здебільшого графітові родовища України віднесені до II групи складності геологічної будови — метаморфічні родовища графіту, представлені пластоподібними покладами з відносно витриманою потужністю, рівномірним розподілом вуглецю графітового і порушеним заляганням. У багатьох випадках визначальною ознакою є розподіл графіту, який для багатьох об'єктів МСБ є нерівномірним, збільшується або зменшується з глибиною та по простяганняю. Геологічну будову родовищ часто ускладнюють також накладені процеси метаморфізму, прояви тектоно-магматичної активізації, що спричинили просторову неоднорідність рудних тіл і перерозподіл корисного компонента. Наприклад, Каратуцький прояв характеризується невитриманими на глибину та по простяганняю рудними тілами і нерівномірною графітизацією, Старокримський прояв морфологічно представлений лінзами і жилами з нерівномірно розсіяним у породі графітом. На Маріупольському родовищі спостерігаються невитримані за потужністю лінзо- та пластоподібні рудні тіла, що значно інтродовані гранітами та апліт-пегматитами з нерівномірним розподілом графіту. На Вишняківському, Водянському, Варварівському та Бабенківському рудопроявах рудні поклади представлені відносно витриманими пластовими, рідше лінзоподібними покладами з відносно рівномірним розподілом графіту в породі, інколи характеризуються порушеним заляганням. Петрівське родовище має нерівномірний розподіл графіту та значне коливання потужності покладів, які ускладнюються інтрузіями гранітів і пегматитів. Гнейси Сачкинського прояву часто дислоковані та зібрані в складки.

Поклади графіту можуть розроблятися комплексно, якщо промислове значення мають перекриваючі руду товщі. До прикладу, на Завалівському родовищі супутньо розробляється будівельне каміння, промислове значення мають піски, глини, на Балахівському та Буртинському родовищах — пісок та глина.

Окремим аспектом розробки родовищ графіту є екологічна складова. Здебільшого родовища і прояви графіту розташовуються в межах орних та малопродуктивних земель, за винятком Троїцького родовища, що частково пере-

буває в межах охоронних зон. Оскільки в більшості родовища та прояви придатні для відкритої розробки, в межах навколо кар'єрного простору необхідною є організація територій для складування розкритих порід та хвостів флотації. Превентивні і рекультивацийні заходи передбачаються проектом розробки родовища. При експлуатації родовищ графіту УЩ основними джерелами викидів є кар'єр, відвали та збагачувальний комбінат. Графітовидобувне підприємство в ході своєї роботи керується рядом нормативно-правових документів, що забезпечують підтримку відповідної екологічної ситуації району видобування. Чистота навколишнього середовища забезпечується лабораторним моніторингом проб ґрунту, повітря та води, що організуються видобувним підприємством.

Ранжування родовищ та проявів з використанням бальної шкали

Можливість «інвентаризувати» запаси і ресурси на об'єктах МСБ та визначити пріоритетність їх подальшої розвідки і розробки з урахуванням промислових, технологічних, економічних особливостей та рівня їх геологічної вивченості можливе на основі бальної оцінки. Вперше така методика була застосована В.А. Овчаренко та Є.С. Герасимовим для геолого-економічної оцінки вугільних родовищ, шахтних полів та ділянок, тобто ранжування «...по цінності їх потенціала» (Овчаренко, Герасимов, 2002, с. 26). Параметри ранжування, як вже зазначалося, є «індивідуальними» для кожного типу корисних копалин. Для графітових родовищ і проявів ці показники залежать здебіль-

Таблиця 2. Характеристика об'єктів аналізу
Table 2. Characteristics of objects of analysis

Параметр	Характеристика	
Корисна копалина	Графіт	
Об'єкти аналізу (ОА)	Прояви та родовища графіту УЩ	
Геолого-промисловий тип ОА	Прожилково-вкраплені руди (завалівський тип)	
Форми рудних тіл	Пластоподібні поклади, лінзи, прожилки	
Геологічний вік	Архей—протерозой	
Геологічний характер вмісних товщ	Мармурово-гнейсові, гнейсові, гнейсові мігматизовані метаморфічні товщі, інтродовані жилами гранітів та пегматитів	
Генетичний тип ОА	Метаморфічні	
Асоціюючі мінерали	Слюди, польові шпати, кварц, гранат, амфіболи, хлорит, кальцит, серицит, тальк	
Технологічні типи руд	Пухкі, напівпухкі, щільні	
Спосіб збагачування руд	Флотація	
Тип графіту	Лускуватий, дрібно-, середньо-, крупнозернистий	
Група складності геологічної будови	I, II, III	
Глибина залягання руд для ОА в межах УЩ (м)	0—102	
Вміст графіту в руді для всіх ОА в межах УЩ, від—до (%)	3,4—9,0	
Методики оцінки	Бальна оцінка	Методика коефіцієнтів приведення
Параметри / критерії ранжування родовищ та проявів	Глибина залягання Група складності геологічної будови, геолого-структурні параметри покладу Вміст графіту в руді Категорія запасів/ресурсів Величина запасів/ресурсів Мінеральний склад руд	Група складності геологічної будови Величина запасів (масштаб родовища) Зовнішні ціни

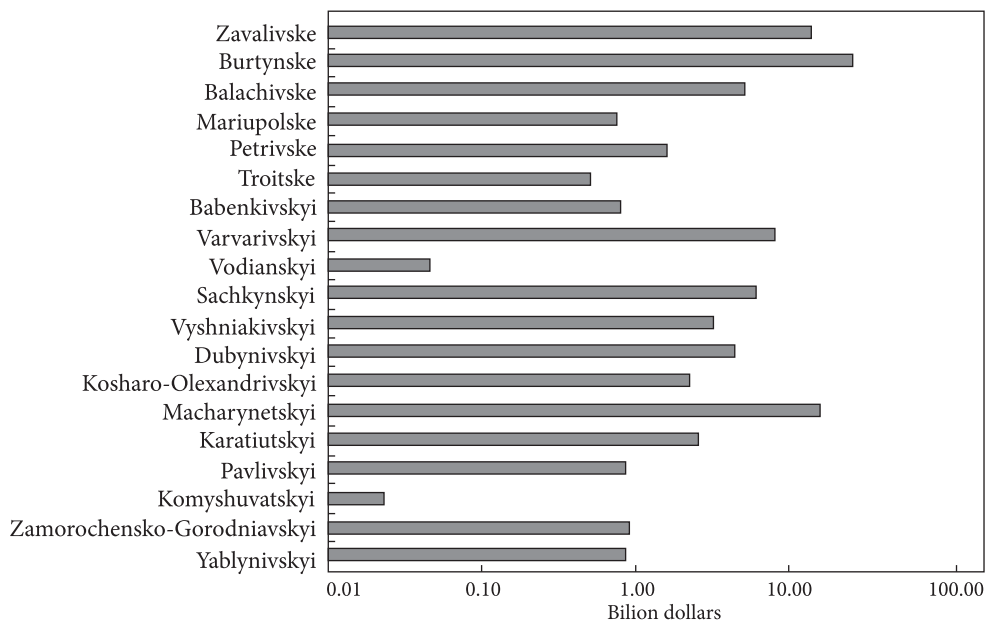


Рис. 3. Вартісна оцінка родовищ та проявів графіту (млрд дол., логарифмічна шкала)
Fig. 3. Cost estimate of graphite deposits and occurrences (billion dollars, logarithmic scale)

шого від природних особливостей покладу, які, в свою чергу, визначають технологічні характеристики руд. Загальна зведена геолого-економічна характеристика об'єктів прогнозу та критерії їх ранжування для родовищ і проявів графіту наведена в табл. 2. Як видно з таблиці, всі об'єкти прогнозу належать до єдиного геолого-промислового типу, тож є цілком співставними.

Відбраковка найменш перспективних ділянок з використанням методики бальної оцінки та детальний опис бракувальних меж по кожному з використаних параметрів проведені в роботі (Лижаченко, 2012), де із вказаного в

табл. 1 переліку відбраковані об'єкти з найменш якісними геолого-промисловими параметрами. Ці об'єкти віднесені до групи покладів, що на даний час промислового значення не мають, проте є основою відтворення МСБ у майбутньому (табл. 5). В табл. 3 відображені рейтингові значення найбільш перспективних проявів, які близькі до родовищ, що розробляються (Завалівське, сума балів за результатами оцінки) та родовищ з доведеною ефективністю освоєння (Буртинське, Балахівське). Значення по цих родовищах використані в даній таблиці як оптимальні при визначенні потенційно перспективних проявів.

Таблиця 3. Ранжування родовищ та проявів за результатами бальної оцінки

Table 3. Ranking of deposits and occurrences according to the scoring

Рудопрояв	Отримані значення (Лижаченко, 2012*)	Родовища	Отримані значення (Лижаченко, 2012)
Каратюцький	19,5	Бабенківський	25
Махаринецький	21	Троїцьке	21
Дубинівський	22	Петрівське	26
Вишняківський	19,5	Маріупольське	21
Сачкинський	16,5	Балахівське	27
Водянський	23	Буртинське	25
Варварівський	22	Завалівське	23
Оптимальні значення 23—27 балів			

* В даній статті уточнені показники по Кошаро-Олександрівському та Сачкинському проявах.

Економічна цінність родовища, як відомо, визначається не абсолютною величиною запасів, а здатністю цих запасів забезпечити прийнятну норму прибутковості підприємства при його оптимальній виробничій потужності. Оскільки укрупнені техніко-економічні розрахунки по більшості об'єктів прогнозу провести на даному етапі неможливо (значна кількість об'єктів оцінки перебуває на стадії попередньої розвідки) і напівпромислові випробування для визначення показників збагачення руд не проводились, загальний дохід від освоєння цих запасів може бути розрахований з використанням методики вартісної оцінки, що розроблена ВСЕГЕІ (Неженский, 2003). Методика дозволяє привести потенційну вартість покладу до реальної з використанням коефіцієнтів, які враховують перехід запасів та ресурсів менш достовірних категорій в більш досто-

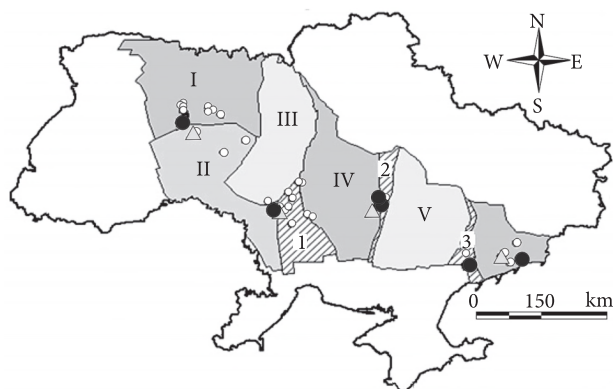


Рис. 4. Графітоносність УЩ. Родовища позначені темними кружками (зліва направо: Буртинське, Завалівське, Балахівське та Петрівське, Троїцьке, Маріупольське), перспективні для розвідки прояви — світлі трикутники (зліва направо: Махаринецький, Дубинівський, Варварівський, Сачкинський), дрібні світлі кружки — прояви, прийняті до аналізу); мегаблоки: I — Волинський, II — Дністровсько-Бузький, III — Росинсько-Тикицький, IV — Інгульський, V — Середньопридніпровський, VI — Приазовський; шовні зони: 1 — Голованівська; 2 — Криворізько-Кременчуцька, 3 — Горіхово-Павлоградська

Fig. 4. Graphite deposits in the Ukrainian shield. Graphite deposits are marked by dark circles (left to right: Burtynske, Zavalivske, Balahivske, Petrivske, Troitske, Mariupolske), occurrences promising for further exploration — light triangles (left to right: Maharynetskiy, Dubynivskiy, Varvarivskiy, Sachkynskiy), small light circles — occurrences taken into account); megablocks: I — Volynskiy, II — Dniestersko-Bugskiy, III — Rosynsko-Tikychskiy, IV — Ingulskiy, V — Middle Prydniprovskiy, VI — Pryazovskiy; suture zones: 1 — Holovanivska; 2 — Kryvyi Rih-Kremenchug, 3 — Horikhovo-Pavlogradska

Таблиця 4. Значення коефіцієнтів K_1 та K_2
Table 4. Values of coefficients K_1 and K_2

Категорія запасів / ресурсів	Значення коефіцієнта	
	K_1	K_2
P_3	0,2	0,07
P_2	0,16	0,4
P_1	0,25	0,75
C_2	0,34	0,92
A + B + C	0,45	

Таблиця 5. Розподіл родовищ та проявів графіту за потенційною значущістю
Table 5. Distribution of graphite deposits and occurrences according to potential significance

Потенційна значущість	Назва об'єкта
Поклади (родовища) перспективні для освоєння	Буртинське, Завалівське, Балахівське
Прояви перспективні для розвідки	Махаринецький, Дубинівський, Варварівський, Сачкинський
Поклади (родовища) умовно перспективні	Маріупольське, Петрівське, Троїцьке
Поклади другорядного значення	Каратюцький, Вишняківський, Водяньський, Бабенківський, Яблунівський, Замороченсько-Городнявський
Не мають практичного значення на даний час	Східно-Савранський, Пединський, Ставківський, Сальниківський, Рогівський, Врадіївський, Шереметівський, Воеводський, Богословський, Вільшанський, Синицівський, Темрюцький, Демовярський, Зарудинецький, Міжріченський, Константинівський, Кошаро-Олександрівський, Павлівський, Забарівський, Майданвільський, Дениші, Хашуватський, Шамраївський, Сабатинівський, Троянський, В'юнківський, Кодацький, Зеленівський

вірні, стан вивченості об'єкта оцінки, втрати при видобуванні, збагаченні. Величина коефіцієнтів визначається за середньостатистичними значеннями в галузі. Експрес-оцінювання проведене за формулою:

$$B = ЦМК_c,$$

де B — товарна вартість запасів графіту в надрах; $Ц$ — середня світова ціна кінцевого продукту (металу, руди, мінералу); $М$ — ресурси або запаси даної категорії відповідного виду мінеральної сировини; K_c — сукупний коефіцієнт приведення вартості товарного продукту до товарної вартості прогнозних ресурсів або запасів у надрах. Значення таких показників, як видно з формули, враховують тільки прибуткову частину вартості корисної копалини та не враховують витрати, які пов'язані з його освоєнням, — капіталовкладення та експлуатаційні витрати, проте є достатньо інформативними для оцінки економічного значення запасів. Сукупний коефіцієнт є добутком трьох коефіцієнтів: K_1 — коефіцієнта приведення вартості кінцевого продукту до вартості прогнозних ресурсів або запасів мінеральної сировини; K_2 — коефіцієнта приведення прогнозних ресурсів і попередньо оцінених запасів до запасів промислових категорій ($A + B + C_1$), який враховує неповний перехід ресурсів і запасів менш достовірних категорій в більш достовірні; K_3 — перехідного коефіцієнта вилучення, який враховує втрати мінеральної сировини при її видобуванні, збагаченні, транспортуванні. Значення коефіцієнтів приведення, що використовуються для підрахунку, обирались, виходячи з масштабу об'єкта оцінювання, категорії запасів та складності геологічної будови; значення коефіцієнтів подані в табл. 4. Оскільки в даній методиці І.А. Неженським враховані не всі види мінеральної сировини і для деяких її видів перевідні коефіцієнти не підраховані, для двох коефіцієнтів були взяті показники, які відповідають найбільш близьким видам мінеральної сировини. Так, значення коефіцієнта K_1 було вибрано з показників для групи гірничорудної

сировини, коефіцієнта $K_3 = 0,8$ з групи «Неметалічні корисні копалини».

Середня ціна на світовому ринку використана станом на 2020 р. — 700 дол./т середньозернистого графіту (94—97 % С) за даними (Graphite Pricing, 2020).

Значення, отримані за результатами експрес-оцінювання, наведені на рис. 3.

За результатами проведеної роботи побудована карта графітоносності УЩ (рис. 4). Об'єкти аналізу позначені у відповідності з отриманими даними.

Висновки

Класифікація МСБ графіту за результатами проведеної роботи наведена у табл. 5. Буртинське та Балахівське родовища — найбільш інвестиційно привабливі об'єкти за запасами та гірничо-технічними умовами розробки. Троїцьке, Маріупольське і Петрівське родовища є детально вивченими об'єктами зі сприятливими умовами розробки, проте запаси цих родовищ є порівняно незначними, тож вони віднесені до умовно перспективних. Геологічні і технологічні параметри освоєння перспективних для розвідки проявів є близькими до таких родовищ з доведеною ефективністю розробки, за винятком Сачкинського прояву, що має дещо нижчі показники за результатами бальної оцінки, але віднесений до перспективних за результатами вартісної оцінки. Потенційно перспективними є поклади другорядного значення, що потребують додаткового вивчення з урахуванням глибини їх розвідки, ступеня вивченості та запасів/ресурсів. Решта покладів на даний час практичного значення не мають у зв'язку з недостатньою вивченістю, низькими показниками вмісту графіту та ресурсами, проте вони є основою для відтворення МСБ графіту в майбутньому.

Доцільною на сьогодні є дорозвідка площ, прилеглих до великих родовищ, як, наприклад, Дубинівський прояв поблизу Завалівського родовища, Махаринецький прояв поблизу Буртинського родовища, що можуть слугувати об'єктами постачання збагачувального комбінату.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Андреева О.О., Лижаченко Н.М. Застосування порівняльних методів оцінки при визначенні промислової цінності родовищ корисних копалин. *Вісн. ОНУ. Сер. Географічні та геологічні науки*. 2014. Т. 19, вип. 4. С. 251—257.
- Загнітко В.М., Лижаченко Н.М. Динаміка видобування та реалізації графіту в Україні та світі. *Вісн. КНУ. Сер. Геологія*. 2012. Вип. 58. С. 32—36.
- Лижаченко Н.М. Ранжування вітчизняних родовищ та проявів графіту за основними геолого-промисловими показниками. *Вісн. КНУ. Сер. Геологія*. 2012. Вип. 59. С. 34—38.
- Лижаченко Н.М., Ніколаєвський В.П., Ніколаєвський І.В., Береговенко О.О., Постолук Р.І. Характеристика схем збагачення графітових руд Завалівського, Балахівського та Буртинського родовищ Українського щита. *Геол. журн.* 2013. Вип. 2 (343). С. 51—58.
- Методичні рекомендації з оцінки перспективних та прогнозних ресурсів твердих корисних копалин: довідник: Василенко А.П., Лепігов Г.Д. (упоряд.). Київ: УкрДГРІ, 2009. 133 с.
- Михайлов В., Загнітко В., Курило М. Перспективи інвестицій в мінерально-сировинний комплекс України. *Вісн. КНУ. Сер. Геологія*. 2017. Вип. 76. С. 47—51.
- Неженский И.А. О расчете товарной стоимости прогнозных ресурсов и запасов твердых полезных ископаемых. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2003. № 3. С. 54—56.
- Овчаренко В.А., Герасимов Е.С. Принципы геолого-экономической оценки сырьевой базы каменных углей Украины как основа для разработки программ развития угольной промышленности (на примере Луганской области). *Мінер. ресурси України*. 2002. Вип. 2. С. 26—28.
- Рудько Г.І., Литвинюк С.Ф., Ловинюков В.І. Геолого-економічна оцінка вугільних родовищ України. *Мінер. ресурси України*. 2002. Вип. 2. С. 23—28.
- Graphite Pricing 2020. <http://northerngraphite.com/about-graphite/graphite-pricing/>

Надійшла до редакції 06.12.2020
 Надійшла у ревізованій формі 14.02.2021
 Прийнята 14.02.2021

REFERENCES

- Andreeva, O.O. and Lyzhachenko, N.M., 2014. Application of comparative assesment methods in determining the industrial value of mineral deposits *Visnyk ONU. Seria: Geographichni ta geologichni nauky*, iss. 4, pp. 251-257 (in Ukrainian).
- Zagnitko, V.M., Lyzhachenko, N.M., 2012. Dynamics of production and realization of graphite in Ukraine and the world. *Visnyk KNU. Seria Geologia*, Kyiv, UA, iss. 58, pp. 32-36 (in Ukrainian).
- Lyzhachenko, N.M., 2012. Ranking of domestic graphite deposits and occurrences of according to the main geological and industrial indicators. *Visnyk KNU. Seria Geologia*, Kyiv, UA, iss. 59, pp. 34-38.
- Lyzhachenko, N.M., Nikolaevsky, V.P., Berehovenko, O.O., Postolyk, R.I., 2013. Characteristics of the graphite ore enrichment schemes of Zavallya, Balahivka and Burtyn deposits of Ukrainian shield. *Geologichnyi Zhurnal*, Kyiv, UA, iss. 2 (343), pp. 51-58 (in Ukrainian).
- Methodological recommendations for the estimation of prospective and forecast resources of solid minerals: guide*, 2009. (Eds. A.P. Vasylenko, G.D. Lepigov), Kyiv, UkrDGRI (in Ukrainian).
- Mykhailov, V., Zagnitko, V. and Kurylo, M., 2017. Prospects for investment in the mineral complex of Ukraine. *Visnyk KNU. Seria Geologia*, Kyiv, UA, iss.76, pp. 47-51 (in Ukrainian).
- Nezhensky, I.A., 2003. On the calculation of the commodity value of forecast resources and reserves of solid minerals. *Min. res. Rosii. Econom., Management*, iss. 3, pp. 54-56 (in Russian).
- Ovcharenko, V.A., Gerasimov, E.S., 2002. The principles of geological and economic assessment of the raw material base of coal in Ukraine as a basis for the elaboration of programs of the coal industry development (on the example of the Luhansk region). *Min. Res. Ukrainy*, Kyiv, UA, iss. 2, pp. 26-28 (in Russian).
- Rudko, G.I., Litvinyuk, S.F. and Lovinyukov V.I., 2012. Geological and economic assessment of coal deposits in Ukraine. *Min. Res. Ukrainy*, Kyiv, UA, iss. 2, pp. 23-28 (in Ukrainian).
- Graphite Pricing, 2020. <http://northerngraphite.com/about-graphite/graphite-pricing/>

Received 06.12.2020
 Received in revised form 14.02.2021
 Accepted 14.02.2021

N.M. Lyzhachenko

The State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine", Kyiv, Ukraine

E-mail: albeet@ukr.net

ANALYSIS OF GRAPHITE MINERAL-RAW MATERIAL BASE
OF THE UKRAINIAN SHIELD USING ECONOMIC METHODS

The analysis of the mineral base of graphite of the Ukrainian shield with the use of geological and economic assessment methods was carried out. Directions of the rational development are outlined. The main problems of sustainable development of graphite mineral raw-material base in modern conditions are determined. Geological and technological factors of economic value of graphite deposits and occurrences are characterized. A scheme of comparative assessment estimation of graphite deposits was proposed. This scheme allows to establish the most promising objects for further exploration in the initial stages of mineral deposits prospecting. The analysis includes the main geological, economic, technological and industrial factors of economic value of graphite deposits, such as reserves / resources, graphite content in ores, depth of ores, exploration degree and complexity of the deposit and others. The following methods were used in the work: the method of rapid assessment of the minerals value for determining the potential economic value of objects and the method of scoring. At the first stage, the deposits and occurrences included in the state balance, were ranked according to geological and industrial parameters. Each of the parameters rated according to its qualitative characteristics. The number of points obtained for graphite deposits with proven development efficiency (Burtynske, Balakhivske) and the developed field (Zavalivske) were used as optimal indicators. According to them, the most promising for further exploration works graphite occurrences with the best geological and industrial indicators were selected. The commodity value of these deposits was calculated using the method of coefficients. The results of the calculation were also taken into account for determining the most promising deposits for investment. According to the obtained data, a map of potentially promising graphite deposits of the Ukrainian shield was constructed.

Keywords: *graphite; deposit; reserves; resources; Ukrainian shield.*