

## **ХАРАКТЕРИСТИКА СХЕМ ЗБАГАЧЕННЯ ГРАФІТОВИХ РУД ЗАВАЛІВСЬКОГО, БАЛАХІВСЬКОГО ТА БУРТИНСЬКОГО РОДОВИЩ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА**

**Н. М. Лижаченко, В. П. Ніколаєвський, І. В. Ніколаєвський,  
О. О. Береговенко, Р. І. Постоліук**

*(Рекомендовано канд. геол.-мінерал. наук В. Я. Великановим)*

На примере трех наибольших месторождений графита Украинского щита рассмотрена проблема обогащения графитовых руд в зависимости от степени их физико-химических изменений, а также принципы их деления на промышленные типы.

On example of three largest deposits of graphite of the Ukrainian shield considered the problem of enrichment of graphite ores depending on the degree of their physical and chemical changes, as well as the principles of its division according to the industrial types.

### **Вступ**

Графіт у природі є досить поширеним мінералом. Завдяки своїй унікальній структурі і властивостям (мастильність, низький коефіцієнт температурного розширення, гарні тепло- і електропровідність, податливість і в'язкість в широких температурних межах, хімічна інертність і нетоксичність та ін.) природний графіт має широке застосування в різних галузях: металургії, електротехнічній та хімічній промисловостях, машинобудуванні, для виробництва вогнетривких, керамічних, мастильних, антифрикційних матеріалів. В даний час промисловістю виробляється понад 500–600 найменувань сортів і марок графітової продукції.

Для України, яка характеризується значними запасами даної сировини, графіт має і високе економічне значення. В надрах держави графіт зосереджений в різних типах метаморфічних порід, трапляється також в магматичних. В залежності від типу порід та їх структурно-текстурних особливостей,

виділяють промислові типи графітових руд, які визначають спосіб їх збагачення.

### **Аналіз попередніх досліджень**

Питання промислових типів руд графітових родовищ Українського щита (УЩ) в науковій літературі розглядалися А. Д. Додатком та Н. Н. Янгічером, а основні дослідження в галузі збагачення руд були проведені В. Б. Чижевським, М. В. Бондаренко, Н. С. Власовою та ін. Розробка схем та режимів збагачення графітових руд проводилась Інститутом мінеральних ресурсів (м.Сімферополь). Технологічні дослідження збагачуваності різних типів графітових руд були виконані Завалівським гірничо-збагачувальним комбінатом (ГЗК).

### **Постановка проблеми та мета роботи**

В Україні налічується шість основних родовищ графіту – Завалівське, Балахівське, Буртинське, Петрівське, Маріупольське, Троїцьке, а також цілий ряд рудопроявів. На сьогоднішній день в експлуатації перебуває Завалівське родовище, на базі якого діє од-

нойменний збагачувальний комбінат. Балахівське та Буртинське родовище готуються до експлуатації. Руди Завалля збагачуються способом флотації. Така ж схема збагачення, згідно з технологічними випробуваннями, передбачена для руд Балахівського та Буртинського родовищ. Проте, в залежності від мінерального складу та фізичного стану руд схема флотаційного процесу кожного з типів руд відмінна. Дана робота має на меті надати характеристику промислових типів руд найбільших за запасами графіту родовищ УЩ – Завалівського, Буртинського, Балахівського, порівняти області застосування продуктів збагачення за результатами лабораторних та напівпромислових досліджень, визначити основні проблеми, пов'язані з їх збагаченням та розглянути досвід Завалівського ГЗК при вирішенні цих проблем.

### **Характеристика промислових типів руд Завалівського, Буртинського і Балахівського родовищ та схеми їх збагачення**

Основною задачею збагачення є отримання концентрату графітового вуглецю з мінімально можливим вмістом мінеральних домішок. Попередньо для визначення доцільності збагачення графіту на стадіях попередньої розвідки проводиться термічна обробка проб графіту в різних температурних інтервалах, у відповідності з якими, та кількістю вуглецю, що згорає, графітвмісна порода характеризується таким чином. Всі породи, в яких графіт вигорає до температури 510°C, містять графіт непромислової якості; якщо вуглець вигорає більше ніж на 60% в температурному інтервалі 510–695°C – породи становлять промисловий інтерес, в разі, якщо в інтервалі 695–800°C вигорає 1–2% вуглецю – породи мають промислову цінність і повинні піддаватись технологічним дослідженням для розробки методів і режимів збагачення. Метод збагачення залежить від шкідливих домішок, характеру вміщуючих порід, структури графіту та призначення продукту. На сьогодні в залежності від характеристики руд використовують такі методи, як ручне сортування, вибіркоче подрібнення, хімічне, магнітне, термічне збагачення, флотацію. Для збагачення

графітових руд УЩ найбільш ефективним є флотаційний метод, як додаткові використовують також магнітну та повітряну сепарацію, хімічне дозбагачення. Флотація 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 (аморфні) – погано. Режим флотаційного процесу залежить від мінерального складу (наявність гіпергенних мінералів, наприклад, наявність окислів в рудах знижує гідрофобні властивості графіту в процесі флотації, ускладнюючи збагачення), структурних особливостей (графіт перебуває в зростках з іншими мінералами або вивільнений в результаті їх руйнування) та фізико-механічного стану руд (щільність, тріщинуватість) і визначається після лабораторно-технічних та напівпромислових випробувань руд. Кінцевим етапом флотаційного процесу є марочна класифікація концентрату згідно ДСТУ. Насамперед оцінюється вихід крупнолускатого (тигельного) графіту. За ДСТУ 17022-81, вміст класу +0,2 мм в тигельному графіті повинен бути не менше 75%. Решта концентрату розподіляється за зольністю, фізико-хімічними показниками та класом крупності.

Для родовищ УЩ, що віднесені до метаморфічного геолого-промислового типу, а отже, мають схожу історію розвитку та геологічну будову, досить характерним є широкий розвиток кір вивітрювання лінійного та площинного типів. Таким чином, з глибиною 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. Найбільшої зміни мінерального складу зазнають пухкі руди, які в залежності від набору гіпергенних мінералів та їх кількості поділяються на окремі підтипи, що передбачають використання їх в процесі усереднення та збагачення. Характеристика типів руд та їх збагачуваності подана нижче.

Древня кора вивітрювання кристалічних порід в межах Завалівського родовища має значне розповсюдження і відноситься до лінійного і площинного типів. Площинна кора розвинута майже всюди, за винятком річних долин, де вона розмита. Потужність

площинної кори вивітрювання в межах родовища коливається від 2 до 30 м. Лінійна кора вивітрювання пов'язана із зонами тектонічних розривних порушень, де її потужність досягає 150–200 м, проте найбільш інтенсивно проявляється в біотит-графітових і біотит-гранатових гнейсах хащувато-завалівської світи, де її потужність досягає 100–150 м. За інтенсивністю вивітрювання порід виділяють три зони кори вивітрювання: 1) каолінітова; 2) каолініт-хлорит-гідрослюди́ста; 3) дезінтеграції. У межах двох верхніх зон проводиться видобування графітової руди.

На основі існуючих даних про склад і фізичні властивості порід у різних зонах кори вивітрювання і досвіду експлуатації родовища вважається доцільним виділяти і враховувати три типи руд: 1) пухкі руди, що відповідають каолінітовій і каолініт-хлорит-гідрослюди́стій зонам; 2) напівпухкі руди зони дезінтеграції; 3) щільні руди, що відповідають незміненим вивітрюванням біотит-графітовим гнейсам.

До щільного різновиду руд віднесені графітові руди, пов'язані із свіжими не порушеними процесами вивітрювання графітовмісними породами. Найбільш характерною особливістю цих руд є їх висока (в порівнянні з рудами з кори вивітрювання) міцність, а також те, що луски графіту знаходяться в щільному зростанні з іншими мінералами материнської породи. Це негативно впливатиме на показники збагачуваності руд. Попередньо до промислового типу А. Д. Додатком та М. М. Янгічером [2] було запропоновано відносити лише пухкі руди, що пояснювалось відпрацьованою, перевіреною та економічно обґрунтованою технологією їх збагачення. Однак вивчення технологічних проб різних типів руд Завалівського родовища показало, що отриманий графіт щільних руд повністю відповідає вимогам промисловості.

При розробці оптимальних умов технологічного режиму основної флотації при збагаченні в лабораторних умовах проб руди з глибоких горизонтів Південно-Східної ділянки визначено оптимальний технологічний режим основної флотації для напівпухких і щільних руд. В результаті проведених досліджень встановлена можливість одержання необхідних технологічних

показників при збагаченні графітових руд нижніх горизонтів Південно-східної ділянки за схемою збагачувальної фабрики (основна + контрольна флотація, п'ять перериток з двома подрібненнями чорного концентрату). Були отримані такі дані (%): вихід корисної копалини в концентрат – 8,8, вилучення – 95,2, вміст графіту в концентраті – 92,2, зольність – 7,6. Вихід тигельного графіту – 18,5%, елементного дрібного (ЕВ-З) – 15%, елементного крупного (ЕВ-К) – 66%. Зважаючи на підвищену твердість досліджених руд в порівнянні з рудами, які переробляються на збагачувальній фабриці, а також більш складну подрібненість руд у технологічному циклі, визнано доцільним включення операції додаткового подрібнення руди (10–15 мм) перед мокрим помеленням. На сьогоднішній день щільні руди родовища не відпрацьовуються.

До напівпухкого різновиду руд відносяться графітові руди, розвинуті в зоні дезінтеграції гнейсів. У породах цієї зони кількість графіту, кварцу, польових шпатів і слюд залишається приблизно такою, як в гнейсах, однак міцність їх значно нижче. В середній верхній частині зони з'являється все більша кількість глинистих новоутворень, зв'язки між окремими мінералами послаблюються, породи стають менш міцними. Це дозволяє вважати, що показники збагачуваності цього типу руд будуть вищими. При дослідженні проб встановлено, що вихід корисної копалини в концентрат сягає 9,3%, вилучення – 95%, вміст графіту в концентраті – 89%, зольність – 10,9%. Вихід тигельного графіту – 20%, елементного дрібного – 15% і елементного крупного – до 10%.

До пухкого типу руд належать руди, що залягають у другій і третій зонах кори вивітрювання графітових гнейсів. Ці руди, як відомо, характеризуються слабкою міцністю і добрими показниками збагачуваності. Майже половину складу руд складають глинисті мінерали (гідрослюди, монтморилоніт, нонтроніт, каолініт, гідрохлорит та ін.). Польові шпати присутні в незначній кількості і лише в нижній частині другої зони. В результаті гіпергенного руйнування гнейсу майже всі луски графіту розкриті, зростків з іншими мінералами залишається дуже мало, що й обумовлює високі показники збагачуваності

руд. Графітові руди із другої та третьої зони кори вивітрювання вирізняються за рядом ознак. У другій зоні серед глинистих мінералів переважають гідрослюди і монтморилоніт, рідко інші. Луска графіту тут повністю зберігає свою форму і розмір. Всі її фізичні і хімічні властивості також залишаються без змін. У третій зоні кори серед глинистих переважає каолініт, а графіт помітно роздрібнюється. Крім цього, в найвищій частині розрізу кори часто присутній пірит (до 5%), окремі ділянки руди карбонатизовані та цементовані кальцитом і сидеритом, деколи породи значно озалізнені внаслідок переносу водами гідрооксидів заліза. Із досвіду роботи збагачувальної фабрики підприємства видно, що показники збагачення графітових руд другої і третьої зон дещо різні. Це обумовлює необхідність поділу охарактеризованого типу пухких руд на два підтипи, що враховуються в процесах усереднення та збагачення: монтморилоніт-гідрослюдистий, пов'язаний із породами другої зони кори вивітрювання; каолінітовий, пов'язаний з породами третьої зони кори вивітрювання. Таким чином, при підрахунку запасів графітової руди родовища виділені і враховані промислові типи руд: щільні (свіжі руди з кондиційним вмістом графіту); напівпухкі (частково змінені вивітрюванням гнейси із зони дезінтеграції); пухкі руди з монтморилоніт-гідрослюдистим і каолінітовим підтипами.

Вихід товарних марок Завалівського родовища за даними технологічних випробувань наведено в табл. 1.

Поклади графітових руд Балахівського родовища приурочені до графітовмісних гнейсів родіонівської світи. В плані вони повторюють простягання вміщуючих порід. В східній частині родовища поклад має субмеридіональне простягання і простежується з півночі на південь на 2890 м, в південній частині – субширотне простягання і простежується зі сходу на захід до 500 м.

Таблиця 1. **Товарні марки графіту**

Марка графіту	Тип
Тигельний	ГТ-1, ГТ-2, ГТ-3 – до 15,5%
Ливарний	ГЛ-1,2,3 – до 45,2%
Елементний	ГЕ-1, ГЕ-2 – до 10,0%, ГЕ-3, ГЕ-4 – до 12,7%
Олівцевий Спеціальний	ГК-3, ГП-1,2,3 – до 16,6%

В межах родовища єдиний поклад графітової руди за умовами залягання і просторовим положенням розділяється на п'ять рудних тіл: східне, західне, південне, центральне і східно-паралельне.

Графітова руда Балахівського родовища також представлена переважно вивітрілими графіт-біотитовими гнейсами, що відповідають каолініт-хлорит-гідрослюдистій та каоліновій зонам вивітрювання. Останні мають площинний характер і розповсюджені до глибини 200 м, нижче кількість вторинних мінералів зменшується, проте на якість руд це не впливає.

Природний і технологічний типи руд Балахівського родовища аналогічні пухкому типу руд Завалівського родовища.

Пухка руда, що є на родовищі єдиним промисловим типом, відповідно до мінерально-петрографічних та структурно-текстурних особливостей, має три різновиди (Р. І. Постолук, 2000 р.):

– Гнейси графіт-біотитові, інколи з силіманітом, хлоритом, серицитом, вміст графітового вуглецю – до 20%. Графіт знаходиться у зростках з біотитом, інколи в зерновому просторі, рідше зустрічається у вигляді агрегатів. Мінеральний склад: кварц, польовий шпат, графіт, біотит, інколи з розвитком по біотиту силіманіту, хлориту, серициту.

– Графітові катаклазити польовошпатового і кварцового складу. Поряд з графітом присутня вуглиста речовина та шунгіт. Мінеральний склад: кварц, польовий шпат, графіт, гідрослюда, хлорит, серицит, біотит.

– Кварцово-глинисті породи з графітом. Графіт знаходиться в кварцовому або глинистому цементі, рідше в міжзерновому просторі. Мінеральний склад: польовий шпат, каолініт, біотит, графіт, арагоніт, сапоніт, кварц.

В межах родовища дані різновиди часто змінюють один одного, тому оконтурити їх просторово практично неможливо. Їх геометризація можлива на стадії розробки родовища для врахування цих різновидів при видобуванні та переробці руд. Графіт даних трьох мінеральних різновидів характеризується довшою кристалічною структурою, його характеристики близькі між

Таблиця 2. Характеристики режиму збагачення Балахівського родовища за схемою ЗГК

Назва продукту	Вихід, %	Вміст вуглецю, %	Видобуток, %
Концентрат валовий, т/г	5,00	89,47	8,90
Концентрат товарний	4,97	89,51	88,55
Втрати при сушінні та розсіві	0,03	82,24	0,5
Хвосты флотації	95,00	0,58	11,00
Руда	100,00	5,03	100,0

Таблиця 3. Основні марки графіту з пухких руд Балахівського родовища

Марка графіту	Зольність, %
Графіт тигельний – 8,18%	3,97
Графіт елементний – 28,20%	5,56
Графіт крупний та ливарний – 63,62%	5,51

Таблиця 4. Вміст графіту в промислових типах руд Буртинського родовища

Тип руд	Пухкі	Напівпухкі	Щільні
Вміст графітового вуглецю в руді, %	3,9–10,8	5,8–11,3	4,5–11,8

собою і мають близькі значення із структурними характеристиками руд Завалівського родовища.

Згідно з лабораторно-технологічними та напівпромисловими випробуваннями (табл. 2, Р. І. Постолук), руди даних трьох різновидів легко піддаються дезінтеграції і відносяться до легкозбагачуваних. Флотаційні дослідження за схемою Завалівського ГЗК, що включала дроблення, подрібнюваність, основну флотацію, п'ять перемісток концентрату з двома його здрібнюваннями та повітряну сепарацію, показали принципову можливість виробництва із руди родовища низькозольних графітових концентратів при достатньо високому витязі графіту.

Із графітової руди можна отримувати марки товарного графіту: графіт тигельний ГТ-1,2,3 ГОСТ 4576-75; графіт елементний дрібний ГЕ-3, ГЕ-4 ГОСТ 7478-75; графіт елементний крупний ГЕ-2; графіт ливарний ГЛ ГОСТ 5279-74 (табл. 3).

Напівпромислові дослідження руд показали також можливість отримувати мало-зольний графіт при подвійній кислотній обробці флотоконцентрату, попередньо обробленого лугом. Хімічне дозбагачення дає змогу одержувати графіт із значно нижчою зольністю.

До графітових руд Буртинського родовища віднесені графіт-біотитові гнейси і їх кори вивітрювання. Меншою мірою графітові руди пов'язані з мігматитами і гранітоїдами.

Чітких контактів між типами руд практично не спостерігається. Вони, як правило, поступові. На родовищі виділяються три основних промислових типи руд, по яких окремо виконано підрахунок запасів: пухкі, напівпухкі і щільні руди. Вміст графіту в кожному з типів руд наведено в табл. 4.

Пухкі графітові руди представлені корою вивітрювання (каоліном первинним) графітвміщуючих порід. Даний тип поширений на всій площі родовища і має потужності від перших метрів до 46,8 м. Збільшення потужності спостерігається у вигляді смуг, лінз, витягнутих по простяганню рудного покладу. Мінеральний склад пухкої руди (%): каолінит – 50–70; гідроксиди – 10; хлорит – до 10; біотит хлоритизований до 10; кварц – 15–25; графіт – 2–15; часто присутній лімоніт, заміщений пірит та ін.

Як показали лабораторно-технологічні дослідження (О. О. Береговенко, 2004) проб пухких руд, вилучення графіту в концентрат становить від 62,4 до 89,3%. Вихід товарних марок графіту: ГТ – до 10,9%, зольність від 5,7 до 8,9%; ГЛ – 67,8–91,6%, зольність 4,9–11,9%; ГЕ – 6,8–29,9%, зольність 5,3–11,9%.

Напівпухкі графітові руди представлені різною мірою порушеними вивітрюванням породами. Усереднений мінеральний склад такий (%): каолінит, нонтроніт, монтморилоніт – 8–30; хлорит – до 12; гідроксиди – до 10; біотит, серицит – до 10; польовий шпат – 8–30; кварц – 20–35; сульфідів до 2.

В результаті впливу процесів вивітрювання руди мають більш низькі якості за міцністю, що потребує менше часу на їх видобування та подрібнення.

За даними лабораторно-технічних випробувань, вилучення графіту в концентрат становить 67,9–96,1%. Вихід графіту марки ГТ – до 5,5%, зольність – 3,2–9,7%; марки ГЛ – до 76%, зольність – 3,4–11%; марки ГЕ – до 39%, зольність – 3,7–15%.

Щільні руди представлені графіт-біотитовими гнейсами і мігматитами, які також мають високу тріщинуватість. Мінеральний склад руд (%): польовий шпат – 30–50; кварц – 20–35; біотит, серицит – 10–17; вміст графіту 2–14 при середньому 5,80–6,76; сульфідів до 3; апатит, ільменіт, циркон – до 1.

Результати лабораторно-технологічних досліджень щільних руд на збагачування і вихід марок графіту показали, що вилучення графіту в концентрат сягає 77,68–97,3% (О. О. Береговенко, 2004). Одержані концентрати мають гарну якість, вміст зольних домішок не перевищує 10%. Вихід крупнолускатого графіту (тигельного) не перевищує 5%. Основні товарні марки: ГТ – 1–5%; ГЛ – 59–72%, ГЕ – 19–40%. Руди відносяться до нормально збагачуваних. За результатами напівпромислових досліджень всіх типів руд отримано марки графіту, наведені в табл. 5.

На основі аналізу результатів лабораторних і напівпромислових досліджень для збагачування графітових руд всіх трьох типів рекомендована технологічна схема, аналогічна (з деякими відмінами) схемі збагачування руд на Завалівському комбінаті.

Схема включає такі підготовчі операції: дві стадії подрібнення до 0,5 мм – для щільної і напівпухкої руди; сушку, подрібнення і промивку-дезінтеграцію – для пухкої руди. Подрібнена, або дезінтегрована, руда направляється на основну флотацію з одержанням чорного концентрату; хвосты основ-

ної флотації – на контрольну з отриманням відвальних хвостів. Дозбагачення чорного концентрату включає дві стадії додрібнювання; шість перецишувальних флотацій з поверненням промпродуктів в операцію основної флотації. Одержаний графітовий концентрат обезвожується, висушується і класифікується по сортах. Хвосты збагачування направляються в хвостосховище.

Таким чином, руди Буртинського родовища відносяться до добрезбагачуваних; вихід тигельного графіту не перевищує 5%; отримані графітові концентрати мають гарну якість, вміст зольних домішок – 5–10%; з усіх типів руд можливе отримання рядових марок графіту високої якості. Як підсумок, варто подати наступну порівняльну таблицю промислових параметрів родовищ, що розглядаються (табл. 6).

В деяких випадках ефективність збагачення пухких руд, які, як зазначалось вище, найлегше збагачувані, може знижуватись. (табл. 7).

Зниження вилучення графіту з пухких руд в окремих випадках дослідники пояснюють тим, що в найвищих горизонтах кори вивітрювання поверхня графітових лусок часто окиснюється, змінюється рН, лусочки втрачають гідрофобні властивості і слабо піддаються флотації. Це, в свою чергу, приводить до значної втрати кожного компонента при збагаченні. В. Б. Чижевським було встановлено, що окислений графіт найбільш ефективно флотується октиловим спиртом та каприловою кислотою. Технологічний процес включав також використання термообробки, додавання їдкового калію та кальційованої соди і дозволяв отримувати в концентраті 83–87% вуглецю. Проте такий спосіб потребує дорогих реагентів.

Технологія, що використовується на Завалівському ГЗК для збагачення окисненої руди буферного складу, дозволяє вилучати понад 90% графіту з значно нижчими еко-

Таблиця 5. Вихід товарних марок графіту із руд

Тип руди	Вихід концентрату, %	Вилучення вуглецю в концентрат, %	Зольність концентрату, %	Вихід товарних марок з концентрату, %		
				ГТ-1, ГТ-3	ГЭ-1, ГЭ-2, ГЛ-1,2,3	ГЭ-4
Щільна	6,0	89,5	9,5	4,0	92,3	3,7
Напівпухка	6,0	89,1	10,0	3,7	89,2	7,1
Пухка	7,5	91,7	8,5	1,7	88,4	9,9

Таблиця 6. Порівняння основних промислових параметрів Балахівського, Буртинського та Завалівського графітових родовищ

Родовище	Тип руд	Мінералогічні різновиди руд, що враховуються при усередненні	Вміст графіту, %	Вихід концентрату, %	Зольність, %	Основні марки
Завалівське (Південно-Східна ділянка)	Пухкі	– Монтморилоніт-гідролюдистий – Каолінітовий	6,46	7,7	6,05	ГТ-1, ГТ-2, ГТ-3 ГЛ-1,2,3 ГЕ-1, ГЕ-2, ГЕ-3, ГЕ-4 ГК-3, ГП-1,2,3
	Напівпухкі	–	6,8	8,8	7,6	
	Щільні	–	6,01	9,3	10,9	
Балахівське	Пухкі	– Гнейси графіт-біотитові, вміст графітового вуглецю до 20% – Графітові катаклазити польово-шпатового і кварцового складу – Кварцово-глинисті породи з графітом	До 20%	7,24	5,40	ГЕ-3, ГЕ-4 ГЕ-2 ГТ-1,2,3
Буртинське (Городнявська ділянка)	Пухкі	– Каолінітовий	3,9–10,8	6,0	9,5	ГТ-1, ГТ-3 ГЭ-1, ГЭ-2, ГЛ-1,2,3 ГЭ-4
	Напівпухкі	–	5,8–11,3	6,0	10,0	
	Щільні	–	4,5–11,8	7,5	8,5	

Таблиця 7. Результати лабораторних досліджень збагачування графітових руд Городнявської ділянки Буртинського родовища

Тип руд	Інтервал відбору проб, м		Вага проб, кг	рН руди	Вилучення графіту в концентрат, %	Вихід товарних марок графіту, %					Лабораторія	
	від	до				ГТ	Зольність	ГЛ	Зольність	ГЕ		Зольність
Напівпухкі	39,4	55,0	32,0	5,0	91,6	4,9	9,71	64,0	10,01	31,1	15,0	Завалівський ГЗК
Щільні	180,0	230,0	29,5	5,0	97,3	–	–	59,8	12,6	40,2	12,1	Завалівський ГЗК
Пухкі	21,1	39,4	31,0	5,0	87,3	5,7	8,25	67,8	11,9	26,5	11,9	Завалівський ГЗК

номічними витратами. Буферний склад був утворений з метою вирівнювання технологічних показників збагачення графітової руди перед переробкою, а також для запобігання додаткових не раціональних втрат первинної сировини. Існування буферного складу дає можливість керувати технологічним процесом подачі руди на збагачення (шихтування) із заданими технологічними показниками.

За період існування буферного рудного складу (з 1982 р) руда в процесі зберігання окиснилась. Переробка окисненої руди в тих пропорціях, що прийняті при звичайному шихтуванні, неможлива через значне

зниження рН (до 2,5–3,0) і, як наслідок, значних втрат графіту в хвостах збагачення. Графітові руди мають складний мінеральний склад, в тому числі присутні сульфіді (пірит, піротин, халькопірит), вміст яких змінюється від 1 до 5%, а в окремих випадках досягає 10%. В процесі вивірювання польові шпати, які входять до складу руди, зазнають процесу каолінізації, а каолін є слабкою кислотою. Все це приводить до збільшення маси шламів і викликає сильну негативну дію на процес флотації. Подальше зниження рН руди потребує різкого збільшення витрати лужних реагентів, що знижує прибутковість підприємства. Крім цього, при низьких зна-

чення рН порушується процес класифікації пульпи внаслідок коагуляції тонких шламів. В свою чергу тонкі шлами негативно впливають на флотацію. При окисненні руд процес шламоутворення інтенсифікується, шлами поглинають велику кількість реагентів, підвищують вязкість пульпи, знижують стійкість піни, підвищують зольність вихідного концентрату. В шламах концентруються окислені сполуки і розчини солі.

Для встановлення можливості та умов переробки окислених графітових руд в науково-дослідній лабораторії Завалівського графітового комбінату проведено ряд дослідів, за результатами яких встановлено, що найбільш прийнятним способом є шихтування окиснених руд із свіжими видобутими рудами, що не потребує значних матеріальних витрат на збагачення при високих показниках [3]. Методика полягала у відборі проб свіжої графітової руди по горизонтах та окисненої руди із рудного буферного складу. Досліджувались такі співвідношення руд в шихті:

Варіанти шихти	Вміст руди у %, % в шихті	
	Кисла руда	Свіжа руда
1	0	100
2	10	90
3	20	80
4	30	70
5	100	0

Дослідами показана принципова можливість збагачення кислих руд при участі їх в шихті 10–20%.

Досвід переробки шихти графітової руди із вмістом 15% окисненої в 2004 р. показує, що за період квітень – листопад всього перероблено 90 тис. т, з яких 13,4 тис. т. окисненої руди.

Таким чином, крім досягнутих високих показників збагачення маємо значну економію реагентів.

## Висновки

1. Промислові типи руд найбільших за запасами родовищ УЩ визначаються за рядом ознак: фізичний стан порід, мінералогічний склад, спосіб збагачення. Останній визначає необхідність виділення та врахування при усередненні підтипів пухких руд, що

включають монтморилоніт-гідрослюдисту та каолінову відміни на Завалівському родовищі, каолініт-хлорит-гідрослюдисту та каолінову на Балахівському та каолінову на Буртинському родовищах.

2. Промислове значення руд Завалівського родовища є вищим, ніж решти об'єктів, оскільки їх збагачення дозволяє отримати майже всі товарні марки графіту (табл. 7). Якщо враховувати, що найбільш цінним є графіт тигельний (ГТ), то за цим показником Завалівське родовище помітно перевищує Буртинське майже в чотири рази.

3. Технології збагачення руди, що використовуються Завалівським ГЗК, передбачають застосування найбільш економічно вигідних складових флотації та забезпечують ефективне використання руд. Значною мірою Завалівський ГЗК є ключовим суб'єктом графітовидобувної галузі України, оскільки розробка та збагачення руд, найперспективніших для освоєння родовищ графіту, буде здійснюватись за аналогією. Досвід удосконалення традиційних схем збагачення руди може бути прикладом для інших збагачувальних фабрик світу.

4. Важливим кроком до продуктивного використання сировини є досвід Завалівського графітового комбінату у збагаченні окиснених руд.

## Список літератури

1. Брагина В. И., Брагин В. И. Флотационные методы обогащения: Учебное пособие. – Красноярск, 2010 г. – 277 с.
2. Додатко А. Д., Янгичер Н. Н., Карпенко Н. Н. К вопросу о промышленных типах руд графитовых месторождений Украинского щита. Геол. журн. – 1981 – Т. 41, № 2. – С.143–147
3. Заяц Н. Н. Производство и применение чешуйчатого графита Завальевского месторождения: Монография (рукопись). – Завалье, 2004 – 24 с.
4. Смирнов В. О., Білецький В. С. Флотаційні методи збагачення корисних копалин. – Донецьк, Схід. видавн. дім, 2010. – 492 с.

Київ. нац. ун-т  
ім. Тараса Шевченка  
Київ,  
E-mail: albeet@ukr.net

Стаття надійшла  
24.01.13