

Derrick можливий випуск високоякісного та конкурентоспроможного на залізорудному ринку концентрату з вмістом заліза більше 67 %.

Список літератури

1. Пелевин А.Е. Научные основы процесса тонкого гидравлического вибрационного грохочения и разработка новых систем обогащения магнетитовых руд: дис. доктора техн. наук :25.00.13 / Пелевин Алексей Евгеньевич. – Екатеринбург, 2011. – 398 с.
2. <http://library.stroit.ru/articles/tgrohot/index.html>
3. Ширяев А.А. Применение тонкого грохочения для повышения качества железорудного концентрата на обогатительной фабрике горно-обогатительного комплекса «АрселорМиттал Кривой Рог» / А.А. Ширяев, Е.Н. Нескоромный, А.И. Мироненко, С.А. Самохина, С.С. Старых // Вісник КНУ. – Кривой Рог, 2013.
4. <http://www.mining-media.ru/ru/article/gorobor/1655-osvoenie-vysokochastotno-grokhota-korporatsii-derrick-na-oao-ssgpo>
5. Хміль І.В. Виробництво залізорудного концентрату в умовах РЗФ-1 ПАТ ПІВНГЗК з впровадженням у технологію збагачення операції тонкого грохочення / І.В. Хміль, О.В. Булах, О.Л. Костючик // Гірничий вісник. - № 97 – Кривий Ріг: КНУ, 2014. – С. 226–231.
6. Эксперименты по проведению тонкого грохочения кварцевого песка высокого качества на высокоскоростных грохотах фирмы «Derrick», Autbereitungs Technik., Mineral Processing № 9, 2002
7. И.П. Богданова, Е.Н. Рукасова, В.С. Маргулис. К вопросу повышения воспроизводимости технологических показателей при проектировании / Богданова И.П., Рукасова Е.Н., Маргулис В.С. // Обогащение руд черных металлов, 1975.
8. Получение концентратов с содержанием кремнезема менее 1% из магнетитовых кварцитов / П.К. Саворский, П.А. Гонтаренко, Л.А. Захарова, Б.М. Малый и др. В кн.: Особенности обогащения тонковкрапленных руд черных металлов. М., 1985. – с. 6-10.
9. Журавлев С.И., Смачная Э.М. Эффективность применения тонкого грохочения в схемах обогащения магнетитовых руд. «Обогащение руд черных металлов». М., Недра.
10. Опыт применения вибрационных грохотов корпорации «DERRIK» при обогащении железных руд., Веннер м.л., Трапе Н., Лелис В.Ю. – Горный журнал, 2002г., №3. с.- 60-64.

Рукопис подано до редакції 14.04.15

УДК 622.7: 622.765.06

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, професор, А.І. МАКАЧОВА, студентка
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ КОМПЛЕКСНОГО ЗБАГАЧЕННЯ БІОТИТ-ГРАНАТОВИХ ГНЕЙСІВ ЗАВАЛЛІВСЬКОГО РОДОВИЩА

Стаття присвячена проблемі комплексної переробки сировини Заваллівського родовища. Проведено аналіз розроблених та впроваджених технологій збагачення біотит-гранатових гнейсів, за якими виявлені переваги і недоліки розглянутих технологій збагачення графітових руд. У результаті дослідження обрана оптимальна схема збагачення біотит-гранатових гнейсів. Досліджено мінералогічний та хімічний склад досліджуваної проби біотит-гранатового гнейсу Заваллівського родовища. Досліджена можливість отримання готового концентрату за допомогою гравітаційного, мокрого і сухого магнітного збагачення. Встановлено оптимальну технологію переробки біотит-гранатового гнейсу, за якою отриманий гранатовий концентрат, що відповідає вимогам промисловості. Надано результати збагачення графітової руди за обраною схемою та при встановленому реагентному режимі.

Перероблення вивіреного біотит-гранатового гнейсу в лабораторних умовах, за схемою сухого магнітно-електричного збагачення, яка включала крупне, середнє та дрібне дроблення вихідного гнейсу до 1 мм, основну магнітну сепарацію в полі високої інтенсивності, перечищення в магнітному полі цієї ж напруженості промпродукту, основної сепарації і електросепарації об'єднаного концентрату магнітної сепарації забезпечило отримання гранатового концентрату з вмістом гранату 92,51 % та біотиту 1,70 % при вилученні гранату 91,72 %, кварц-польовошпатовий продукт з вмістом кварцу 63,44 % та оксидом заліза 9,76 % і біотит-кварц-польовошпатові хвости в кількості 8,51 %.

Ключові слова: збагачення, біотит-гранатові гнейси, концентрат,

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Гірничо-металургійний комплекс України експлуатується більш ніж п'ять століть. Родовища багатих руд практично виснажені. В зв'язку з цим, на сьогодні вельми актуальним є питання комплексного збагачення сировини українських родовищ. Адже практично всі види корисних копалин, містять декілька мінералів і тому технологія їх перероблення може розглядатися з позиції комплексного використання, тобто отримання не одного а декількох товарних продуктів. Комплексне збагачення

сировини забезпечить більш повне використання ресурсів, що в свою чергу вплине на рентабельність гірничо-металургійних підприємств.

Так, наприклад, в сировині Заваллівського родовища крім основного мінералу графіту, містяться гранат, кварц та польовий шпат, які представляють промисловий інтерес. Сьогодні Заваллівський комбінат випускає 25 видів графітової продукції. Залучення в переробку вкришних порід дозволить підвищити рентабельність роботи цього підприємства за рахунок отримання інших видів товарної продукції, а також покращити екологічне становище прилеглих територій. Тому розробка технології комплексного використання та збагачення сировини Заваллівського родовища є досить актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Для вирішення поставленого завдання наукового дослідження, розглянемо особливості технологій комплексного використання та збагачення сировини. Особливу увагу привернемо до технології отримання гранатового концентрату.

Типовою технологією супутнього отримання гранату з родовищ корисних копалин є переробка гранат-вмісних порід Іванівського родовища (Український щит), з якого видобувають граніт. Розкривні породи представлено біотит-гранатовими гнейсами з піроксеном та силіманітом. Сьогодні розроблено технологію переробки, що передбачає операцію подрібнення, класифікації, знешламлення, гравітаційне збагачення, мокру магнітну сепарацію, суху магнітну та електричну сепарацію яка дозволяє отримати гранатовий концентрат з вмістом гранату 96,5 % при вмісті гранату у вихідній руді 18,4 % [1].

Застосування тих чи інших методів збагачення з отриманням гранатового концентрату залежить від властивостей мінералів, які входять в склад збагачуваної сировини. Для вилучення безпосередньо гранату з сировини найчастіше використовують гравітаційний спосіб збагачення [2]. Він заснований на різниці щільності мінералів, які входять до складу руди. Тому гранат, як досить щільний мінерал, доцільно вилучати у важку фракцію за допомогою різних гравітаційних методів.

Прикладом комплексного використання сировини, з отриманням різних видів товарної продукції, є збагачення залізних руд. Так, при збагаченні залізних руд Північного району Криворізького басейну виявлено, що породи розкриття представлено гранатвмісними сланцями. Для їх перероблення запропоновано технологію збагачення вивітрених гранат-кварц-біотитових сланців гравітаційним методом без застосування води [3], яка передбачає двостадійне дроблення, класифікацію на п'ять фракцій: $-10,0\div+3,0$ мм; $-3,0\div+2,0$ мм; $-2,0\div+1,0$ мм; $-1,0\div+0,5$ мм; $-0,5\div+0$ мм. Фракції $-10\div+3$ мм $-0,5\div+0$ мм видаляється з процесу, так як весь гранат в класі крупності $-10\div+3$ мм знаходиться у нерозкритому стані, а з дрібного класу вилучення гранату без води неможливо. Фракції $-3,0\div+2,0$ мм; $-2,0\div+1,0$ мм; $-1,0\div+0,5$ мм передбачено розділяти за допомогою концентраційного столу при різних кутах нахилу деки. Така технологія дає змогу отримати гранатові концентрати високої якості: 98,8 % для класу $-3,0\div+2,0$ мм; 99,4 % для класу $-2,0\div+1,0$ мм; та 98,0 % для класу $-1,0\div+0,5$ мм при вмісті гранату у вихідних класах крупності відповідно 25,6; 50,7 та 31,0 %. Перевагою схеми є отримання концентратів високої якості без використання води. До недоліків слід віднести високі втрати гранату з розколом, який без використання води не піддається збагаченню.

Альтернативним варіантом є технологія з використанням не тільки гравітаційних методів, але магнітних та електричних, так як гранат відносять до парамагнетиків [4,5].

Так, для порід Ганнівського родовища розроблена технологія сухого збагачення гранатвміщуючої сировини, яка передбачала дроблення початкової сировини в гладковалковій дробарці до крупності 3-0 мм, збагачення в три стадії - пневмокласифікація, високоградієнтна магнітна сепарація та електростатична сепарація гранату. Перша стадія збагачення проводиться в пневмокласифікаторі, в результаті якої початковий матеріал знепилюється і з нього виділяється клас $-0,25$ мм, у якому практично не міститься гранат. Окрім цього виходять три гранатвміщуючі фракції, яка підлягала збагаченню кожна у своєму циклі. Так при вмісті гранату у початковій сировині 16 % були одержані три гранатові концентрати різної крупності $-3,0\div+1,0$; $-1,0\div+0,5$ і $-0,5\div+0,25$ мм з вмістом корисного компоненту 98,75; 98,5 і 96,56 % відповідно [5].

Для сировини цього родовища запропонована схема збагачення у водному середовищі, яка включала двостадійне дроблення з наступним одностадійним подрібненням у відкритому циклі стрижневому млині до крупності $-3\div+0$ мм. Подрібнений матеріал передбачено класифікувати

за граничним зерном 2,0 мм у зв'язку з тим, що фракція +2 мм характеризується низький вмістом гранату і її можна віднести до відходів збагачення. Матеріал крупністю $-2\div+0$ мм підлягає збагаченню за гравітаційно-магнітною технологією, що включає знешламлення, гравітаційне збагачення з використанням звужувального жолобу, концентраційного столу та магнітну сепарацію. Така технологія дозволяє отримати концентрат з вмістом гранату 94,6 % при його вмісті в вихідній сировині 20 % [6].

У цьому напрямку проведені також дослідження щодо комплексного використання сировини Ганнівського родовища, які направлено на переробку невивітрених гранат-вмісних сланців з метою отримання гранатових концентратів високої якості. Авторами [7] розроблено технологію збагачення породи з вмістом гранату 24,7 % з використанням двостадійного дроблення в шокових дробарках, грохочення, знешламлення, основної магнітної сепарації з перечищенням магнітного продукту, гідралічної класифікації з розділенням на чотири фракції: $-2,0\div+1,0$ мм; $-1,0\div+0,5$ мм; $-0,5\div+0,16$ мм; $-0,16\div+0$ мм. Фракцію $-2,0\div+1,0$ мм передбачено направляти одразу на доведення, так як переважно весь матеріал представлено гранатом (93,5%). Фракцію $-0,16\div+0$ мм визначено видаляти з процесу, так як основна кількість часток не містить гранат (89,6 %). Фракції $-1,0\div+0,5$ мм та $-0,5\div+0,16$ мм передбачено збагачувати за допомогою концентраційного столу. Доведення важкого продукту до концентрату здійснювалося в дві стадії магнітної сепарації в слабкому і сильному магнітному полі. У результаті за такою технологією збагачення можливо отримати гранатовий концентрат з вмістом гранату 95,7 %. Недоліком даної технології є апаратурна складність схеми збагачення сировини.

Подальшим прикладом комплексного використання сировини є переробка порід розкриття Тербеостровського родовища гранату, що знаходиться на території Карелії, які представлено двома типами – кіаніт-гранат-біотитовими гнейсами та гранатовими жедрититами. Основним товарним продуктом при розробці родовища та збагачення сировини є гранатовий, супутніми концентратами – кіанітовий та польовошпатовий. Технологія збагачення руд з вмістом гранату у вихідній сировині 13,7 % включає дроблення в три стадії, грохочення за граничним зерном 0,5 мм, гравітаційне збагачення фракції $-5\div+0,5$ мм, доведення на магнітному сепараторі важкої фракції з вмісту гранату 78,6 до вмісту 82-86,1 % гранату. З хвостів цієї технології за допомогою флотації виділяють концентрати: кіанітовий з вмістом 80 % кіаніту та польовошпатовий - 76% польового шпату. Недоліком цієї технології є низький вміст гранату в концентраті, що не відповідає вимогам споживачів[8].

Комплексне використання надр добре простежується при аналізі технології, яка передбачає переробку відвалів Хігостровського родовища (Карелія) з видобутку червоного корунду. За цією технологією передбачається отримання гранатового концентрату з вмістом гранату 88,7 % з гранат-біотитових гнейсів відвалів (вміст гранату в сировині 14,7 %) за допомогою гравітаційного збагачення на концентраційному столі та електросепарації на коронному камерному електросепараторі. Технологія підготовки сировини передбачала дроблення, подрібнення в млинах самоподрібнення, грохочення з поверненням скрапу на подрібнення, класифікацію [9]. Недоліком технології є значні витрати електроенергії за рахунок великої кількості операцій перечищення при гравітаційній сепарації. Крім цього кінцевий концентрат містить досить високу кількість домішок. Тому для підвищення якості концентрату авторами технології було передбачено доведення чорного гранатового концентрату на повітряному чотирьохкамерному класифікаторі з 88,7 % до вмісту гранату 92,33 % [10]. Але при цьому одержують промпродукт з вмістом гранату 86,65 %, який не є товарним і потребує розробки рішень з знаходження ринку його використання. Цей факт є вадою, яка не дозволяє рекомендувати дану технологію як кінцеву.

Прикладом флотаційного збагачення гранату є вилучення його з золотовмісних руд Сінюхінського родовища. Так, хвости збагачення золотовмісних руд представлені волластонітом, гранатом, кальцитом та сульфідами. Волластоніт, гранат та кальцит можуть розглядатися як промислово важливі мінерали. Тому, була розроблена комплексна технологія збагачення хвостів цих руд, що містили 20,0 % кальциту, 30,0 % гранату та 40,0 % волластоніту за схемою, яка включала: сульфідну флотацію (для видалення сульфідного продукту в хвости), карбонатну флотацію з перечищенням для отримання кальцитового концентрату з вмістом кальциту 80,0 % при його вилученні в концентрат 85,0 %, та поліградієнтну сепарацію камерного продукту карбонатної флотації при напруженості магнітного поля 3500 кА/м, що дозволило одержати кон-

центрати: гранатовий з вмістом гранату 78,0 % при його вилученні 89,6 % та волластонітовий, з вмістом волластоніту 85,0 % при вилученні 96,3 % [11]. Ця технологія не отримала свого практичного використання, в зв'язку зі складністю технологічного оснащення схеми.

Стосовно Заваллівського родовища. Родовище представлено різновидами біотит-графітових та біотит-гранатовими гнейсами з пошарками кварцитів та карбонатних порід. Основним видобувним мінералом цього родовища є графіт, який отримують з біотит-графітових гнейсів. Але біотит-гранатові гнейси представлено не тільки графітом, але і гранатом, кварцом та польовими шпатами, що в значній мірі підвищує промисловий інтерес в зв'язку з можливістю отримання додаткової товарної продукції.

Постановка завдання. В роботі поставлена основна мета дослідження - розробка технології комплексного збагачення сировини Заваллівського родовища.

Викладення матеріалів та результати. Методика досліджень включала: вивчення речовинного складу вихідної проби, а також технологічних властивостей мінералів з яких складається порода. На дослідження поступила проба сильно вивіреного біотит-гранатового гнейсу Заваллівського родовища, яка переважно представлена порфіробластами гранату ізометричної форми розміром від 0,5-2 мм до 15-2 мм, а також лусочками біотиту, субпаралельного орієнтування, та невеликою кількістю графіту.

При вивченні речовинного складу та технологічних властивостей мінералів проб графітових і гранатових гнейсів було застосовано макроскопічний і мікроскопічні методи дослідження зразків кернавого матеріалу, шліфів і при-шліфовок, а також мономінеральних фракцій для визначення вмісту граната, біотиту та інших мінералів, термічний аналіз на установці УТА-1 з хромель-алюмелевою термопарою (час нагріву 15 хв. до 1000 С, еталон - проколений Al_2O_3), хімічний і спектральний аналізи графітових гнейсів і виділених з них мономінеральних фракцій. Гравітаційний аналіз виконувався послідовним розділенням мінералів в важких середовищах різної питомої ваги. Мокра магнітна сепарація проводилася на лабораторному валковому сепараторі типу АЕС-1 з нижнім подаванням руди при зазорі 3 мм, зі швидкістю обертання валків 45 об/хв. та напруженістю магнітного поля до 0,8 Тл. Перечищення концентрату мокрої магнітної сепарації проводилась на лабораторному концентраційному столі типу 30а-КЦ-1. Суха магнітна сепарація здійснювалася на електромагнітному сепараторі типу 229-СЕ конструкції інституту Механобр, електросепарація - на лабораторних електросепараторах типу ПС-1 та каскадному.

На підставі мікроскопічного вивчення біотит-гранатового гнейсу в шліфах визначено, що він має сланцювату текстуру, порфіробластову структуру з ліпідогранобластовою та нематоліпідогранобластовою структурою основної тканини.

Встановлено, що головними мінералами є: гранат (від 20 до 40 %), кварц (15-30 %), біотит (10-30 %), плагіоклаз (5-15 %), ортоклаз-пірит (до 20 %). Другорядні мінерали представлено графітом, вміст якого становить 1-5 % і сидеритом, який міститься зазвичай в незначній кількості.

Акcesорними мінералами є силіманіт, апатит, циркон, пірит, піротин, монацит, рутил, які зустрічаються в шліфах у вигляді одинарних зерен розміром до 0,2-0,3 мм. Іноді в шліфах відмічається скупчення зерен епідоту та ільменіту.

У результаті аналізу хімічного складу проби встановлено знижений вміст SiO_2 на 4,47 %, більш високий вміст Al_2O_3 на 2,1 % в порівнянні зі звичайними гнейсами. Слід відзначити в пробі порівняно високий вміст сірки 0,76 % та вуглецю 0,65 %, що обумовлено входженням в склад гнейсу графіту і сульфідів (піриту та піротину). Чітко виражена перевага калію у вмісті лугів, так як відношення K_2O/Na_2O дорівнює 2,01.

При виконанні спектрального аналізу у вихідній руді виявлено порівняно високий вміст нікелю, який складає в нормальних гнейсах в середньому $1,2 \cdot 10^{-3}$ %, а у вивченому гнейсі ділянки «Південно-Північний» воно досягає $8 \cdot 10^{-3}$ %, тобто близько до вмісту його елемента в графітовому гнейсі не утворюють підвищених концентрацій, а в порівнянні з графітовим гнейсом, який не піддався процесам вивітруванням, в гранатовому гнейсі вміст більшості мікроелементів у 5-10 раз менше.

У результаті гравітаційного аналізу (рис. 1-2) встановлено, що при щільності середовища більше $3,5 \text{ т/м}^3$ з вихідної сировини, що містила 26,76 % гранату, можливо отримати сумарний гранатовий концентрат з вмістом гранату 92,34 % при його вилученні 96,4 % та вмістом біотиту

0,36 %. Аналіз результатів дозволяє зробити висновок, що гравітаційними методами збагачення на вузько класифікованому матеріалі може бути отримано кондиційний гранатовий концентрат з низьким вмістом біотиту і з малими втратами гранату.

У результаті мокрого магнітного збагачення при напруженості магнітного поля 0,8-1,1 Тл некласифікованої руди крупністю $-1\div+0$ мм отримано гранатовий концентрат з вмістом гранату 62-56 % при вилученні його 94-97 % (рис. 3). Але в цьому концентраті відмічено завеликий вміст біотиту 30-36%, у зв'язку з малою різницею питомої магнітної сприйнятливості гранату і біотиту.

Низький вміст гранату в концентраті магнітної сепарації обумовлено наявністю в ньому деякої кількості нерозкритих зростків польового шпату і кварцу з магнітними мінералами. Тому без вузької класифікації вихідного матеріалу перед магнітною сепарацією розділити ці два мінерали неможливо.

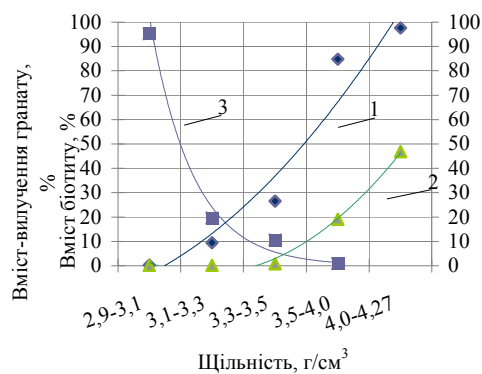


Рис. 1. Результати гравітаційного аналізу біотит-гранатового гнейсу для класу $-1\div+0,315$ мм: 1, 2 - вміст гранату; 3 - вміст біотиту

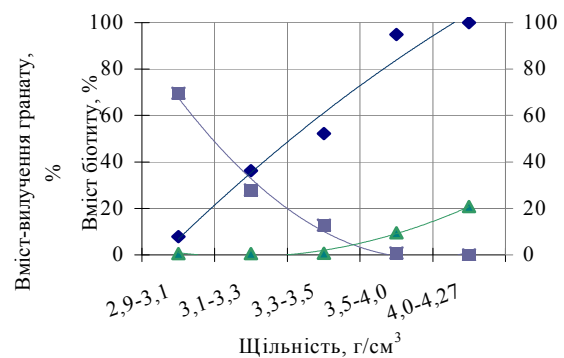


Рис. 2. Результати гравітаційного аналізу біотит-гранатового гнейсу для класу $-0,315\div+0,056$ мм: 1, 2 - вміст гранату; 3 - вміст біотиту

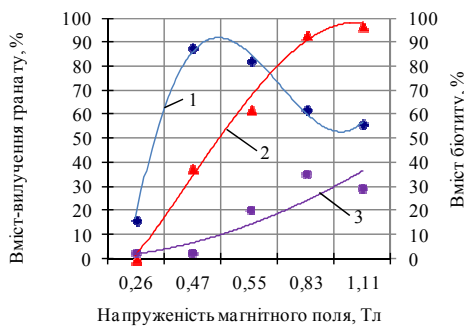


Рис. 3. Результати магнітного аналізу біотит-гранатового гнейсу: 1 - вміст гранату; 2 - вилучення гранату; 3 - вміст біотиту

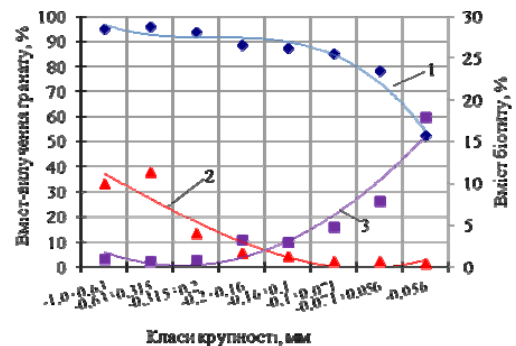


Рис. 4. Показники кінцевого гранатового концентрату: 1 - вміст гранату; 2 - вилучення гранату; 3 - вміст біотиту

Результати проведених в лабораторних умовах технологічних досліджень свідчать про те, що технологія збагачення біотит-гранатових гнейсів повинна включати як гравітаційні, так і магнітні методи.

На підставі отриманих результатів була розроблена магнітно-гравітаційна технологія перероблення цієї сировини, що включає: знешламливання вихідної руди за класом $-0,040$ мм, основну та контрольну мокру магнітну сепарацію і концентрацію на столі об'єднаного магнітного промпродукту магнітної сепарації з переочищенням на столі промпродукту основної концентрації. За цією технологією з вихідних гнейсів з вмістом гранату 28,42 % було отримано концентрат з вмістом гранату 91,22 %, при вилученні 83,32 % та вмістом біотиту в ньому 5 %, що суттєво перевищує вміст шкідливих домішок згідно вимогам до гранатових концентратів.

Альтернативним варіантом при проведенні досліджень були експерименти з перероблення гнейсів без застосування води, із застосуванням сухої електричної сепарації та магнітної сепарації в полі високої інтенсивності.

Збагачення біотит-гранатового гнейсу на електромагнітному сепараторі показало високу ефективність цих сепараторів на цій сировині за рахунок сумісної дії на матеріал магнітних, гравітаційних та інерційних сил. Дія цих сил призводить до утворення широкого віялу матеріалу, що сепарується, в верхній частині якого концентрується переважно гранат, в нижній - кварц та польовий шпат, а в середній біотит з кварцом, польовим шпатом і гранатом.

Застосування перечищення гранатового концентрату на електросепараторі дало змогу знизити вміст біотиту в концентраті до 1,7 %, що відповідає вимогам споживачів.

Перероблення вивіреного біотит-гранатового гнейсу в лабораторних умовах, за схемою сухого магнітно-електричного збагачення, яка включала крупне, середнє та дрібне дроблення вихідного гнейсу до 1 мм, основну магнітну сепарацію в полі високої інтенсивності, перечищення в магнітному полі цієї ж напруженості промпродукту, основної сепарації і електросепарацію об'єднаного концентрату магнітної сепарації забезпечило отримання гранатового концентрату з вмістом гранату 92,51 % та біотиту 1,70 % при вилученні гранату 91,72 %, кварц-польовошпатовий продукт з вмістом кварцу 63,44 % та оксидом заліза 9,76 % і біотит-кварц-польовошпатові хвости в кількості 8,51 %.

Слід відзначити, що кварц-польовошпатовий продукт може бути рекомендовано для отримання кварц-польовошпатових концентратів для скляної і керамічної промисловості після зниження вмісту окису заліза до 0,2-0,5 %.

Висновки і напрямки подальшого дослідження. У результаті виконаних досліджень: встановлено, що технологія комплексного збагачення для сировини Заваллівського родовища з застосуванням сухих методів має ефективність збагачення за Хенкоком-Луйкеном 89,6 % проти 71,1 % технології з застосуванням мокрих методів, тобто на 18,5 % більше. Тому для перероблення біотит-гранатових гнейсів Заваллівського родовища рекомендовано саме схему їх сухого магнітно-електричного збагачення.

Список літератури

1. **Мостыка Ю.С.** Кинетика магнитной сепарации и технология доводки гранатовых концентратов/ **Мостыка Ю.С., Мостыка Е.Н.** // Горный информационно-аналитический бюлетьень. М.: издательство «Горная книга». 2005.– №12. – С. 274-280.
2. Неметаллические ископаемые СССР, -Москва, 1941.
3. **Ковальчук Л.Н.** Минералогические закономерности гравитационного обогащения гранат-кварц-биотитовых сланцев Северного района Кривбасса (без применения воды) / **Ковальчук Л.Н., Евтехов В.Д.** // Геолого-минералогічний вісник Криворізького технічного університету.– 1999.– №1.– С. 36-41.
4. **Ковальчук Л.Н.** Минералогическое обоснование процесса подготовки гранат-содержащих сланцев к обогащению/ **Ковальчук Л.Н., Евтехов В.Д.** // Відомості Академії гірничих наук України.– 1997.– №4.– С. 49-51.
5. **Кушнірук Н.В.** Обгрунтування параметрів магнітної електростатичної сепарації гранатвміщуючих сланців, – Кривий Ріг, 2006.
6. **Ковальчук Л.М.** Технологічна мінералогія гранат-вмісних сланців Ганнівського родовища Криворізького басейну, -Кривой Рог, 2003.
7. **Ковальчук Л.Н.** Минералогия гравитационного обогащения гипергенно неизмененных гранат-содержащих сланцев Анновского месторождения (Криворожский бассейн) / **Ковальчук Л.Н., Евтехов В.Д., Дударь Л.Т.** // Геолого-минералогічний вісник Криворізького технічного університету.– 2001.– №2.– С. 11-20.
8. **Щипцов В.В.** Гранатовые руды северной Карелии, технологические подходы к их освоению и возможные области использования / **Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Каменева Е.Е., Савицкий А.И.** // Геология и полезные ископаемы Карелии. Петрозаводск. 2002. – Вып.5. – С. 82-94.
9. **Некрашев Г.Д.** Электросепарация граната// Изв. ВУЗов, - Горный журнал, 1963.– №6. – С. 189-194.
10. **Бельшев А.К.** Разработка технологии обогащения гранатсодержащего сырья/ **Бельшев А.К., Мясников Н.Ф., Ковердяев О.Н., Тарасов А.Н.** // Горный информационно-аналитический бюлетьень. М.: издательство «Горная книга». 2000.– №2.
11. **Брагина В.И.** Извлечение ценных минералов из хвостов обогащения/ **Брагина В.И., Коннова Н.И.** // Горный информационно-аналитический бюлетьень. М.: издательство «Горная книга». 2011.– №12.– С. 165-169.