

УДК 537.32+549.731.13:550.812

## ТИПОМОРФІЗМ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАГНЕТИТУ ТА ЇХНЄ ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ

**Б. Пирогов<sup>1</sup>, І. Холошин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Федеральне державне унітарне підприємство ВІМС, м. Москва, Росія  
E-mail: pirogov\_bi@inbox.ru

<sup>2</sup>Криворізький державний педагогічний університет  
E-mail: xol2008@yandex.ru

Досліджено термоелектричні властивості магнетиту з руд основних генетичних типів. Виявлено природні чинники, що визначають мінливість термоелектрорушійної сили мінералу. Розглянуто конкретні приклади вирішення прикладних завдань у разі вивчення й прогнозного оцінювання магнетитових родовищ різних генетичних і формаційних типів.

*Ключові слова:* магнетит, термоелектрорушійна сила, кристалічна ґратка, генерації мінералу, мінералогічна зональність, генетичний тип руд.

Незважаючи на високий ступінь вивченості магнетиту, дані щодо типоморфізму його термоелектричних властивостей суперечливі [1, 2, 6–9, 11].

За даними праці [8], магнетит – це мінерал, у якому рівень Фермі розташований у межах  $3d$ -зони. Для нього характерна низька рухливість носіїв і поляризація спінових моментів, і, як наслідок, – з погляду електрики мінерал відрізняється як від ідеального металу, так і від ідеального напівпровідника. За одними даними [7, 9, 10], магнетит належить до напівпровідників  $n$ -типу, за іншими [11], –  $p$ -типу. Г. Лавін з'ясував [9], що для синтетичних кристалів магнетиту в широкому діапазоні температури зберігається значення термоелектрорушійної сили (термоЕРС), що дорівнює  $-55$  мкВ/град; М. Телкес [12] виявив коливання коефіцієнта термоЕРС мінералу залежно від складу в межах від  $-60$  до  $-145$  мкВ/град.

Учені, аналізуючи вплив морфології, складу й будови магнетиту на його термоелектричні властивості, нерідко доходять протилежних висновків. Наприклад, Г. Горбатов [1] уперше довів, що термоЕРС малотитанового магнетиту з різних родовищ однакова (від  $-67$  до  $-68$  мкВ/град), різко зростає в магнезійних (від  $-123$  до  $-137$ ) і манганцевистих ( $-207$  мкВ/град) різновидах. О. Францесон [7] виявила різницю у значенні термоЕРС фено- і ксенокристалів ( $-88$  мкВ/град) магнетиту та гідротермальних пилоподібних вкраплень ( $-55$  мкВ/град) у кімберлітах Якутії.

Водночас доведено [6], що більшість магнетиту різних генетичних типів має однорідний розподіл термоЕРС, і середні арифметичні, геометричні й статистичні значення зазвичай близькі або збігаються. Розкид простежено лише в зернах з дрібних вкраплень, у магнетиті з тонкими структурами розпаду і слідами окиснення або гідротермальної переробки. Згідно з даними [10], значення коефіцієнта термоЕРС магнетиту не зазнає суттєвих змін за вмісту Ni або Zn до 20 %. З огляду на це С. Щека зі співавт. [6] дійшов висновку, що термоЕРС магнетиту визначена головню ступенем дефектності (невпоряд-

кованості) кристалічної ґратки. Отже, термоЕРС інтрузивних і гідротермальних різновидів магнетиту визначена переважно ступенем розпаду первинного (високотемпературного) складу, тоді як у більш низькотемпературних відмінах цей вплив незначний, зважаючи на їхню чистоту.

За даними В. Краснікова зі співавт. [4], тип провідності і значення коефіцієнта термоЕРС магнетиту виявляє взаємозв'язок з деякими умовами (рис. 1). Як бачимо з рис. 1, зі зниженням температури мінералоутворення від 800 до 550 °С у разі переходу від магматичного етапу до пегматитового і гідротермального, включаючи скарновий, термоЕРС мінералу поступово збільшується. Під час переходу від скарнового етапу до гідротермального термоЕРС уже зменшується. Це пояснюють як зміною валентності елементів, так і структурними змінами в мінералі. Проте така динаміка зміни коефіцієнта термоЕРС магнетиту суперечить експериментальним даним, отриманим іншими авторами [1, 6].

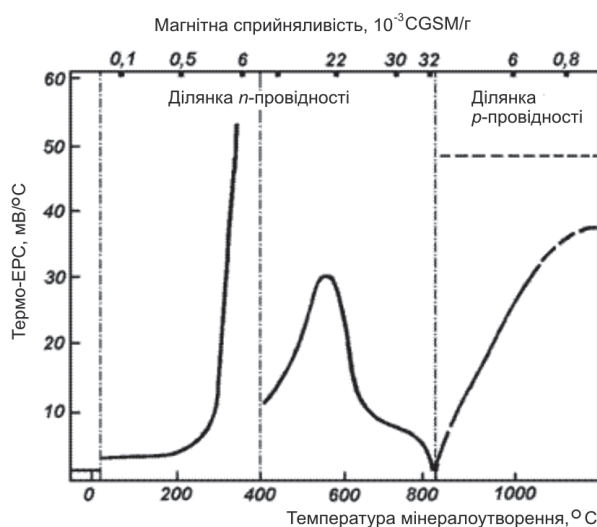


Рис. 1. Залежність магнітних і термоелектричних властивостей магнетиту від температури мінералоутворення [4].

Отже, можна дійти висновку, що термоелектричні властивості магнетиту недостатньо вивчені, наявна інформація не дає змоги однозначно оцінити чинники, що визначають мінливість коефіцієнта термоЕРС мінералу, і, як наслідок, – дуже складно застосувати його термоелектричні властивості в практиці геологорозвідувальних робіт. Наша мета – сприяти вирішенню цієї проблеми.

Ми дослідили понад 900 взірців магнетитових руд основних генетичних типів: магматичного (Качканарське родовище), карбонатитового (Ковдорське родовище), контактово-метасоматичного (Дашкесанське, Соколово-Сарбайське, Гороблагодатське родовища, рудопрояви Полярного і Приполярного Уралу), гідротермального (Коршуновське, Рудногірське, Нерюндінське родовища) і метаморфічного (родовища Криворізько-Кременчуцького, Білозерського, Гуляйпільського і Маріупольського районів, КМА, Карелії, Білорусько-Прибалтійського регіону та ін.). Для 224 проб виконано повний хімічний аналіз, а для 175 – малооб'ємні технологічні випробування з визначенням основних показників збагаченості руд (вміст заліза в концентраті і хвостах, вилучення і вихід).

Термоелектричні властивості магнетиту вивчали на установці, облаштованій на базі мікротвердоміра ПМТ-3, з електродами, виготовленими з константанового дроту. Конструкція датчика дала змогу зменшити до мінімуму довжину зондів, що привело до значного зменшення похибки вимірювання. Інша перевага цих зондів – можливість нормувати їхній тиск на мінерал, що також приводить до зменшення похибок вимірювання термоЕРС. Точне юстування голчастих зондів дає змогу вивчати термоелектричні властивості дрібних зерен (понад 1 мм), контрольованих візуально під мікроскопом. Градієнт температури між гарячим і холодним електродами – 80, що контролювали за допомогою еталона. Як вимірювальний пристрій використано цифровий мікрвольтметр. Установка градуйована за еталонами А. Ракчєєва (МДУ, Росія).

Для уникнення помилок вимірювання коефіцієнта термоЕРС магнетиту використано масові вимірювання, причому не лише в межах одного взірця, а й одного зерна, з подальшим математично-статистичним опрацюванням результатів. Статистичне опрацювання експериментальних даних виконували із застосуванням статистичної системи Stadia, що дає змогу вирішувати завдання багатовимірною математично-статистичного аналізу: множинна кореляція і регресія, аналіз чинника та ін.

У таблиці наведено значення коефіцієнтів термоЕРС магнетиту різних генетичних типів. Увесь вивчений магнетит має електронний тип провідності. Коефіцієнт термоЕРС коливається від  $-13$  до  $-92$  мкВ/град. Найбільші значення має магматогенний магнетит качканарського типу, найменші – магнетит залізисто-кременистих формацій докембрію.

Для виявлення природних чинників, що визначають мінливість термоелектричних властивостей магнетиту, ми виконали комплексне дослідження магнетиту з різним ступенем і характером ізоморфних заміщень, структур розпаду твердого розчину й епітаксичних включень, неоднорідністю гранулометрії та різноманітними структурними характеристиками. Для оцінки структурних особливостей мінералу введено статистичний показник, названий ступенем агрегатності, який визначають підрахунком кількості зерен (блоків), що припадають у середньому на один квадратний міліметр одиниці площі агрегату (1 мм – мінімальна відстань між зондами установки). Експериментальні дані аналізували як у межах окремих родовищ, так і для конкретних їхніх генетичних типів.

У підсумку з'ясовано, що термоелектричні властивості високотемпературного магнетиту (магматичний, карбонатитовий, скарновий і гідротермальний) визначені переважно ступенем дефектності (невпорядкованості) кристалічної ґратки, яка, відповідно, зумовлена проявом ізоморфних заміщень, з одного боку, і наявністю продуктів розпаду твердого розчину, – з іншого. Як наслідок – високий кореляційний взаємозв'язок між коефіцієнтом термоЕРС і вмістом у мінералі заліза, який для магнетиту цієї генетичної групи досягає  $-0,92$ . На рис. 2 показано взаємозв'язок цих показників для магнетиту Ковдорського карбонатитового родовища. Виразно бачимо, що термоЕРС магнетиту підвищується зі збільшенням його нестехіометрії. Зазначимо, що коефіцієнт термоЕРС мінералу визначений головно ступенем розпаду первинного складу. Чим менший у магнетитовій матриці вміст основних домішок, тим менший цей вплив. З огляду на це для низькотемпературного близько-стехіометричного магнетиту роль цього чинника незначна.

Як засвідчили дослідження, прямі кореляції між термоЕРС магнетиту і складом домішок не характерні. Досить стійкий позитивний кореляційний взаємозв'язок між коефіцієнтом термоЕРС і вмістом  $MgO$  та  $Al_2O_3$  в магнетиті високотемпературного генезису (відповідно, 0,86 і 0,80) є непрямою і зумовленою ознакою зворотної кореляції між вмістом цих елементів і заліза, спільного в структурі мінералу (відповідно,  $-0,86$  і  $-0,81$ ).

## Термоелектричні властивості магнетиту різних генетичних типів

Генетичний тип	Родовище (рудне поле)	ТермоЕРС, мкВ/град			
		$n$	$X_{\text{сеп}}$	$X_{\text{min}}-X_{\text{max}}$	$S$
Залізисто-кременисті формації докембрію	Скелеватське	29	15,5	13,6–17,4	1,0
	Глеюватське	28	15,4	13,9–17,6	0,9
	Інгулецьке	29	15,4	13,5–18,4	1,2
	Ганнівське	35	16,5	13,8–23,7	3,8
	Першотравневе	31	17,8	14,1–36,4	7,9
	Шиманівське	33	15,5	13,7–18,2	1,1
	Михайлівське	47	*	13,3–76,5	*
	Зеленівське	37	16,6	13,8–19,3	1,4
	Лебединське	89	15,5	13,5–18,5	1,2
	Костомуське	35	15,5	13,8–18,1	1,0
	Оленегірське	4	15,6	13,7–17,3	0,8
	Кіровогірське	5	15,5	13,7–17,1	0,1
	Петрівське	14	15,6	13,9–18,3	0,9
	Білозерське	33	16	14,7–18,3	0,8
	Гуляйпільське	18	16,7	15,6–17,7	0,6
	Околівське	5	18,1	15,5–21,4	1,7
	Стайцельське	4	21,5	18,0–23,3	1,5
	Сергіївське	79	18,3	15,3–28,4	3,9
Корсацьке	18	17,2	15,1–28,4	3,6	
Контактово-метасоматичний	Дашкесанське	7	26,0	14,0–35,9	4,1
	Соколовське	4	27,7	15,5–38,4	4,4
	Сарбайське	3	25,8	14,2–36,6	4,0
	Гороблагодатське	12	27,5	15,1–39,8	4,5
Карбонатитовий	Ковдорське	257	37,5	4,8–72,3	11,6
Магматичний	Качканарське	33	53,5	18,5–92,0	12,2
Гідро-термальний	Коршунівське	6	28,1	20,2–35,6	3,7
	Рудногірське	8	30,2	18,8–40,3	4,4
	Нерюндінське	7	25,4	14,5–38,3	4,1

\* Великий розкид значень у межах кожного дослідженого взірця не дає змоги отримувати достовірні результати.

У магнетиті залізисто-кременистих формацій значної кореляції між коефіцієнтом термоЕРС і вмістом мікродомішок нема. Водночас у ньому виявлено високий позитивний кореляційний взаємозв'язок між коефіцієнтом термоЕРС і ступенем агрегатності виділень мінералу (0,77). Цей коефіцієнт кореляції  $K_k$  підвищується ще більше в разі статистичного опрацювання експериментальних даних, отриманих у ході аналізування магнетиту окремих родовищ. Наприклад, для магнетиту Лебединського родовища (КМА)  $K_k = 0,86$ . Очевидно, структурна неоднорідність магнетиту (особливості гранулометрії, блоковість, мозаїчність та ін.) є причиною зміни концентрації носіїв струму в мінералі. З межами між індивідами й окремими блоками пов'язаний тамовський поверхневий стан електронів [3], що зумовлює поверхневу провідність металевого типу. Концентрація пов'язаних з поверхнями електронів, а відповідно, і негативні значення коефіцієнта термоЕРС магнетиту тим вищі, чим більше поверхонь поділу в агрегаті.

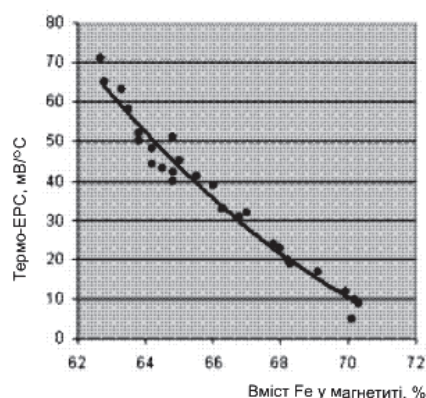


Рис. 2. Взаємозв'язок термоЕРС магнетиту Ковдорського родовища з вмістом заліза в мінералі.

Підтвердженням отриманих даних є результати математично-статистичного опрацювання експериментальних даних методом аналізу чинника. За навантаженнями виразно виділяють два значущі чинники, внесок яких у дисперсію більший, ніж початкові стандартизовані змінні. Чинник 1 визначає мінливість групи таких ознак:  $F1 = +(\text{термоЕРС, MgO, Al}_2\text{O}_3, \text{MnO}); -(K_{\text{агрег}}, \text{CaO, Fe}_2\text{O}_3, \text{FeO, Fe}_{\text{заг}})$ . Його можна інтерпретувати як параметр, що відображає дефектність структури мінералу, яка пов'язана з коефіцієнтом термоЕРС зворотним зв'язком. Чинник 2 відображає мінливість групи таких ознак:  $F2 = +(K_{\text{агрег}}, \text{TiO, термоЕРС, MnO, FeO, CaO}); -( \text{Fe}_{\text{заг}}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{MgO, Fe}_2\text{O}_3)$ ; він пов'язаний переважно з агрегатним станом виділень мінералу.

Завдяки використанню чинників, що визначають мінливість термоелектричних властивостей магнетиту, можна вирішити комплекс прикладних завдань з вивчення і прогнозного оцінювання родовищ і зруденіння різного генетичного і формаційного типу. Нижче наведено приклади.

**Визначення формаційної належності порід і руд.** Структурна чутливість термоелектричних властивостей магнетиту, зумовлена конкретними умовами їхнього утворення, визначає можливість використання термоЕРС як однієї з найважливіших типоморфних ознак. Як бачимо з таблиці, простежується відмінність у значеннях коефіцієнта термоЕРС магнетиту з родовищ різного генетичного типу. Насамперед, це стосується контрастних за генезисом груп родовищ: високотемпературних магматичних і карбонатитових (28–92 мкВ/град), середньотемпературних скарнових і гідротермальних (14–40) і родовищ, пов'язаних із залізисто-кременистими формаціями (13–28 мкВ/град).

Також закономірно змінюються термоелектричні властивості магнетиту в межах цих груп. Наприклад, коефіцієнт термоЕРС магнетиту залізисто-кременисто-сланцевої і залізисто-кременистої метакератофір-туфіт-сланцевої формацій у середньому на 3 мкВ/град менше, ніж магнетиту залізисто-кременистої метабазит-кальцифір-гнейсової формації.

**Виділення прихованої мінералогічної зональності** полягає в проведенні мінералогічного картування термоелектричних властивостей магнетиту як “наскрізного” мінералу для виявлення закономірностей просторової зміни коефіцієнта термоЕРС і – на підставі аналізу виявлених закономірностей – з'ясування прихованої мінералогічної зональності рудного поля. Як приклад, можна навести результати мінералогічного картування термоелектричних властивостей магнетиту Ковдорського карбонатитового родовища. ТермоЕРС магнетиту визначена комплексом чинників, провідним з яких є склад

мінералу. Коефіцієнт термоЕРС магнетиту варіює від  $-28$  до  $-70$  мкВ/град. Дані вимірювань нанесено на карту й опрацьовано за допомогою тренд-аналізу (рис. 3). Тренд відображає спільну мінералогічну зональність родовища; зональне кільце характерне для південної ділянки, а лінійна зональність – для північної.



Рис. 3. Характер просторової мінливості термоелектричних властивостей (мкВ/град) магнетиту Ковдорського карбонатитового родовища.

**Визначення відносного рівня ерозійного зрізу рудних тіл, родовищ, рудних полів і районів.** Це завдання тісно пов'язане з попереднім. Якщо виявлено динаміку природної мінливості термоелектричних властивостей магнетиту з глибиною, то можливо визначити ступінь генетично пов'язаних геологічних утворень різного масштабу. Ми вивчили термоелектричні властивості магнетиту з трьох ділянок скарново-магнетитових проявів Хорасюрської зони Приполярного Уралу. Мінливість коефіцієнта термоЕРС магнетиту Яни-Туринської ділянки (що має найбільший розмах і прийнятий як еталонний) з глибиною досліджено по свердловині 5 043 як графік репера. Положення на графіку репера проб магнетиту з досліджуваних ділянок засвідчило, що магнетит Північноволинської ділянки відповідає нижнім поверхам еталонного розрізу, а Охтлямської – середньому і верхньому. У разі зіставлення абсолютних позначок проб, що мають близькі значення коефіцієнта термоЕРС, між собою та з еталоном з'ясовано, що стосовно Яни-Туринської ділянки Охтлямська піднята в середньому на 150 м, а Північноволинська – на 350 м.

**Виділення генерацій мінералу.** У прикладній мінералогії значну увагу приділяють генераціям мінералів – різним поколінням одного й того ж мінералу, що розділені перервами в кристалізації [5]. Як свідчить практика, у разі визначення генетичних типів мінералів найчастіше спрацьовує мінералогічний принцип невизначеності. З огляду на це термоелектричні властивості магнетиту є ефективною допоміжною ознакою для виділення генерацій мінералу.

Як приклад можна навести дані, отримані нами під час дослідження магнетиту родовищ, які суттєво відрізняються за генезисом. Зокрема, на гістограмі розподілу значень коефіцієнта термоЕРС магнетиту Ганнівського родовища (Криворіжжя) виразно виділені три області розподілу параметра (рис. 4). Перша з них відповідає перекристалізованим поліедрично-гілчастим агрегатам мінералу (13,0–16,5 мкВ/град), друга – суцільним тонкозернистим і тонкошаруватим зросткам первинного магнетиту (16,5–19,0), третя – катаклазованим агрегатам (21,0–24,0 мкВ/град). Провідним чинником мінливості термоелектричних властивостей магнетиту родовища є його структурні особливості.

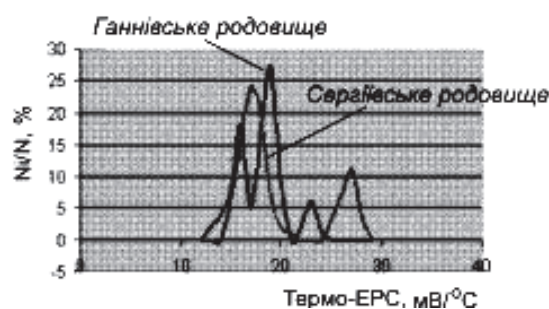


Рис. 4. Характер розподілу термоЕРС магнетиту Ганнівського та Сергіївського родовищ.

На гістограмі розподілу коефіцієнта термоЕРС магнетиту Сергіївського родовища генерація нестехіометричних виділень мінералу, пов'язаних з процесом гранітизації, утворює відособлену групу, зміщену в інтервал вищих негативних значень (див. рис. 4).

**Виділення особливостей зональної та секторіальної будови кристалів і зерен мінералу.** Термоелектричні властивості магнетиту змінюються не лише в межах різних порід, руд та їхніх ділянок, а й суттєво варіюють у межах окремих індивідів. Це пов'язано з наявністю зональної та секторіальної будови зерен, яка виявляється в об'ємній неоднорідності розподілу сторонніх мінеральних фаз (епітаксичних включень і продуктів розпаду твердого розчину), ізоморфних домішок і таких структурних ознак, як мозаїчність і блоковість. Якщо немає чинників, що заважають виконувати площинні вимірювання значення термоЕРС великих кристалів або зерен, то можна виявити “внутрішню” морфологію мінералу – анатомічну будову, яка формується в процесі росту.

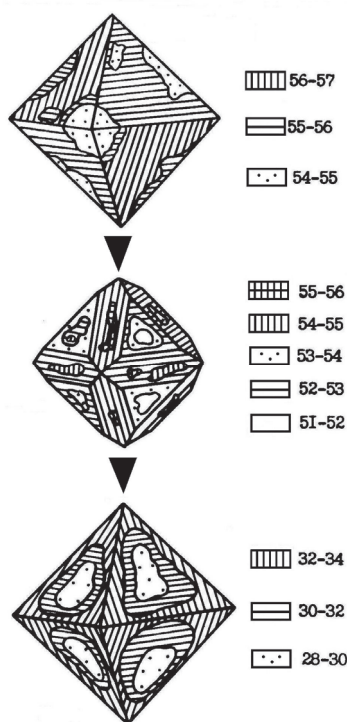


Рис. 5. Еволюція характеру розподілу коефіцієнта термоЕРС в об'ємі індивідів магнетиту Ковдорського родовища, мкВ/град.

Наприклад, під час площинних вимірювань термоЕРС на гранях кристалів магнетиту Ковдорського карбонатитового родовища вдалося простежити характер розподілу коефіцієнта термоЕРС в об'ємі індивідів (рис. 5) та оцінити еволюцію анатомії мінералу в просторі й часі. Виявлено поступовий перехід від секторіальної будови найбільш ранніх кристалів (типи 1 і 2) до зонально-секторіальної (типи 3 і 4) і, зрештою, секторіальної в найпізніших виділеннях мінералу (тип 5). Така зміна в анатомічній будові магнетиту зумовлена еволюцією процесів мінералоутворення на родовищі, зокрема, проявом перекристалізації у зв'язку з накладеними процесами (апатитизацією і карбонатизацією). У ході перекристалізації відбувався перерозподіл продуктів розпаду твердих розчинів у магнетитовій матриці, що й фіксують у зміні термоЕРС.

**Оцінка неоднорідності технологічних властивостей магнетитових руд і прогнозування технологічних показників збагачення руд.** Наявність у мінералі тісного зв'язку конституція(склад, будова)–термоелектричні властивості визначає існування взаємозв'язку технологічних показників збагачення руд зі значенням коефіцієнта термоЕРС магнетиту. З використанням цього ми розробили новий спосіб оцінювання технологічних показників переробки магнетитових руд різного генезису із застосуванням термоелектричних властивостей магнетиту. Суть його полягає в такому.

Провідними чинниками, що визначають ефективність процесу магнітної сепарації, є, з одного боку, – неоднорідність конституції мінералу (характерна, головню, для високо-температурних родовищ магматогенного типу – власне магматичних, карбонатитових, скарнових та ін.), а з іншого, – ступінь розкриття виділень мінералу в разі рудопідготовки, що, відповідно, визначене його гранулометриєю і типами зрощення з мінералами, які асоціюють (характерний переважно для родовищ залізистих кварцитів залізисто-кременистих формацій докембрію) [2].

Вивчення термоелектричних властивостей магнетиту дає змогу оцінити ці ознаки мінералу, а отже, прогнозувати технологічні властивості руд. На рис. 6 зображено графік взаємозв'язку між якістю магнетитового концентрату і коефіцієнтом термоЕРС магнетиту з руд Ковдорського карбонатитового родовища.

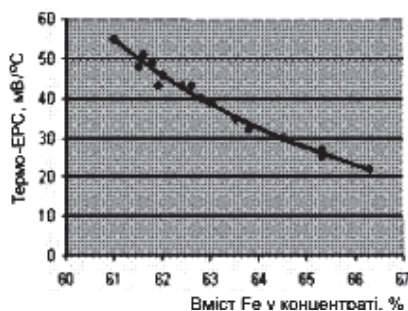


Рис. 6. Взаємозв'язок між коефіцієнтом термоЕРС та якістю магнетитового концентрату з руд Ковдорського карбонатитового родовища.

Коефіцієнт кореляції між цими параметрами становить  $-0,82$ . Завдяки експресності методу термоЕРС і його низькій ціні побудовано карту просторової мінливості коефіцієнта термоЕРС магнетиту (див. рис. 3), яка відображає просторову неоднорідність технологічних властивостей руд родовища.

Отже, термоелектричні властивості магнетиту є високоінформативними й ефективними ознаками мінералу та рекомендовані для широкого застосування в разі виконання різноманітних розшуково-оцінних завдань.

1. Горбатов Г. А. К вопросу об изменчивости термоэлектродвижущих сил природных минералов-полупроводников / Г. А. Горбатов // Мин. сырье. – 1961. – Вып. 3. – С. 116–121.
2. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР / [Б. И. Пирогов, Ю. М. Стебновская, В. Д. Евтехов и др.]. – Киев : Наук. думка, 1989. – 168 с.
3. Иоффе Ф. Ф. Физика полупроводников / Ф. Ф. Иоффе. – М. : Изд-во АН СССР, 1957. – 495 с.



4. Методические рекомендации по использованию электрических свойств рудных минералов для изучения и оценки эндогенных месторождений. – Л., 1983. – 91 с.
5. Павлишин В. И. Онтогенический метод в минералогии / В. И. Павлишин, Н. П. Юшкин, В. А. Попов. – Киев : Наук. думка, 1988. – 120 с.
6. Парагенезисы микроэлементов магнетита / С. А. Щека, А. Г. Пятков, А. А. Вржосек [и др.]. – М. : Наука, 1980. – 146 с.
7. Францесон Е. В. Петрология кимберлитов / Е. В. Францесон. – М. : Недра, 1968. – 199 с.
8. Шуй Р. Т. Полупроводниковые рудные минералы / Р. Т. Шуй. – Л. : Недра, 1979. – 288 с.
9. Lavine J. M. Ordinary Hall effect in  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and  $(\text{NiO})_{0.75}(\text{FeO})_{0.25}(\text{Fe}_2\text{O}_3)$  at room temperature / J. M. Lavine // *Phys. Rev.* – 1959. – Vol. 114. – P. 482–488.
10. Samokhvalov A. A. Electrical properties of ferrite spinels with a variable content of divalent iron ions / A. A. Samokhvalov, A. J. Rustamov // *Sov. Phys.-Solid State.* – 1965. – N 7. – P. 961–966.
11. Siemons W. J. Hall mobility measurements on magnetite above and below the electronic ordering temperature / W. J. Siemons // *IBM J. Res. Dev.* – 1970. – N 14. – P. 245–247.
12. Telkes M. Thermoelectric power and electrical resistivity of minerals / M. Telkes // *Amer. Mineralogist.* – 1959. – N 7–8. – P. 521–536.

#### TYPOMORPHISM OF MAGNETITE THERMOELECTRIC PROPERTIES AND THEIR PRACTICAL USE

**B. Pyrogov<sup>1</sup>, I. Kholoshyn<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Federal State Unitary Enterprise of VIMS, Moscow, Russia*

*E-mail: pirogov\_bi@inbox.ru*

<sup>2</sup>*Kryvyi Rih State Pedagogical University*

*E-mail: xol2008@yandex.ru*

Thermoelectric properties of magnetite from the ores of basic genetic types have been researched. The natural factors which determine changeability of mineral' thermoelectric force have been found out. The concrete examples of the applied tasks decision while studying and prognosis evaluating of different genetic and structures type magnetite deposits have been analysed.

*Key words:* magnetite, thermoelectric force, crystalline framework, generations of minerals, mineralogical zoning, genetic type of ores.

**ТИПОМОРФИЗМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАГНЕТИТА  
И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ****Б. Пирогов<sup>1</sup>, И. Холошин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Федеральное государственное унитарное предприятие ВИМС, г. Москва, Россия*  
*E-mail: pirogov\_bi@inbox.ru*

<sup>2</sup>*Криворожский государственный педагогический университет*  
*E-mail: xol2008@yandex.ru*

Исследовано термоэлектрические свойства магнетита из руд основных генетических типов. Обнаружены природные факторы, которые определяют изменчивость термоэлектродвижущей силы минерала. Проанализированы конкретные примеры решения прикладных задач при изучении и прогнозном оценивании магнетитовых месторождений различных генетических и формационных типов.

*Ключевые слова:* магнетит, термоэлектродвижущая сила, кристаллическая решетка, генерации минерала, минералогическая зональность, генетический тип руд.

Стаття надійшла до редколегії 24.04.2012

Прийнята до друку 29.05.2012