

УДК 549.091.5

С.В. Шевченко, кандидат геологічних наук,
завідувач кафедри загальної та структурної геології
E-mail: shevchsergey@gmail.com

В.Є. Смєлова, студентка
Email: lera1999823@gmail.com

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
пр. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ НЕОДИМОВОГО МАГНІТУ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ДОРОГОЦІННОГО КАМІННЯ

(Рекомендовано кандидатом геологічних наук Хоменко Ю.Т.)

Портативний неодимовий магніт є одним з найбільш корисних і найменш відомих інструментів для ідентифікації дорогоцінного каміння. Результати виконаної роботи демонструють можливості використання цього інструменту під час проведення польових гемологічних досліджень, а також безпосередньо в роздрібній ювелірній торгівлі.

Ключові слова: неодимовий магніт, дорогоцінне каміння, діагностика, магнітна сприйнятливість, парамагнетизм, діамагнетизм.

Актуальність

Неодимовий магніт є інструментом, який може виявити дуже слабкий магнетизм навіть у таких часто-густо невеликих об'єктах спостережень, як дорогоцінні камені. Простота його використання разом з доступністю для широкого кола зацікавлених роблять цей портативний інструмент незамінним під час багатьох польових досліджень. Оскільки кожен тип каміння виявляє характерний діапазон відповідей на магніт, такі магнітні реакції можна використовувати під час гемологічної діагностики. З метою демонстрації таких реакцій на прикладі деяких різновидів дорогоцінного каміння і виконано цю роботу.

Основні результати

Як показують результати досліджень іноземних колег та наші власні дослідження, неодимовий магніт (сплав рідкоземельного металу неодиму, заліза і бору) є надзвичайно чутливим інструментом, який може виявити дуже слабкий магнетизм. Він є простим у використанні і, на відміну від багатьох інших

інструментів для гемології, доступний за невелику ціну – до 100 грн. Відразу слід наголосити, що мова не йде про точну ідентифікацію каменю. Разом з тим, цей магніт спроможний дати підказку, чим той чи інший камінь бути не може.

Отже, говорячи про магнітні властивості дорогоцінного каміння, ми маємо на увазі його магнітну сприйнятливість. Це вимірюваний ступінь, з яким дорогоцінний камінь притягується або відштовхується магнітним полем. Реакція, з якою камінь реагує на магніт, як правило, відповідає його магнітній сприйнятливості. Оскільки ступінь відштовхування (діамагнетизму) є дуже слабким для більшості дорогоцінних каменів, точно, зазвичай, вимірюється лише ступінь магнітного притягання (парамагнетизм).

Серед методів дослідження магнетизму в дорогоцінному камінні можна виділити якісні та кількісні методи. До перших відносять прямий та флотаційний методи. Прямий метод полягає у виявленні магнітного притягання (атракції) до неодимового магніту в сухому вигляді – камені притягуються, незважаючи на опір сили тертя (якщо дослі-

дження відбувається на твердій поверхні, наприклад, стола або дерев'яної дошки). Флотаційний метод полягає у виявленні притягання або відштовхування від магніту для каменів, що плавають у воді на спеціальному плоту з пінопласту або коркового дерева.

Єдиним кількісним методом визначення магнітної сприйнятливості (лише для парамагнітних каменів) є метод, у якому для розрахунків застосовують електронні ваги [1]. Враховуючи, що вага каменю зменшується під впливом неодимового магніту, питома магнітна сприйнятливість MC може бути розрахована за формулою:

$$MC = B \times k,$$

де B – виміряна вага досліджуваного каменю (зменшена під дією магніту), k – постійний коефіцієнт, що дорівнює співвідношенню магнітної сприйнятливості стандартного зразка (з уже відомою магнітною сприйнятливостю) до його ваги (зменшеної під дією магніту).

У системи SI питома магнітна сприйнятливості розраховується в зворотних кілограмах ($кг^{-1}$). Враховуючи, що маса дорогоцінних каменів вимірюється в каратах, автори роботи [1] застосовують у розрахунках одиниці, помножені на

10^{-4} , наприклад: магнітна питома сприйнятливість досліджуваного гранату з групи піральспітів дорівнює $13,10 \times 10^{-4}$ одиниць у системі SI.

Для подібних досліджень доцільно використовувати штатив мікроскопа. При цьому магніт нерухомо закріплений у верхній частині штативу, а ваги, встановлені на рухомому підніжку (робочий столик) мікроскопа, разом з досліджуваними каменем плавно піднімаються до магніту. Обов'язковими умовами є застосування циліндричних неодимових магнітів і такий розмір площадки досліджуваного каменю, який перевищує діаметр циліндричного магніту [1].

Далі розглянемо основні фактори і силу реакції для каміння, що виявляє атракцію (парамагнетизм), та каміння, що відштовхується від магніту (діамагнетизм).



Рисунок 1. Дорогоцінні камені групи гранату до і після магнітного тестування. Демантоїд і спесартин демонструють сильну атракцію, піроп тягнеться за магнітом, цаворит не притягується. Розмір магніту 30×20×4,7 мм, вага 19 г

Парамагнітні камені

Ступінь притягання залежить від кількох основних факторів. Перш за все, це типи металів. Сильну магнітну сприйнятливість мають оксиди заліза і марганцю. Як приклад можна навести помаранчевий гранат-спесартин, забарвлений іонами марганцю. Оксиди хрому, ванадію і кобальту мають вже значно нижчу магнітну сприйнятливість і зустрічаються в менших концентраціях, тому виявити їх магнітом вдається лише зрідка. Іони міді та нікелю можна виявити в напівпрозорому та непрозорому камінні. У синтезованому камінні, зокрема у гранатах, дуже сильна магнітна сприйнятливість визначається домішками іонів рідкоземельних елементів.

Оксиди Fe та Mn в дорогоцінних каменях сильно магнітні і часто легко виявляються. Прикладом є сильно магнітний помаранчевий гранат-спесартин, забарвлений Mn, а також гранат-демантоїд, забарвлений Fe. Обидва ці камені притягуються до сухого магніту – так званий прямий метод досліджен-

ня магнітної реакції. Нами було використано цей метод на прикладі дослідження чотирьох різновидів групи гранату (рис. 1). Так, серед зелених гранатів демантоїд продемонстрував притягання, тоді як цаворит цього не виявив. Спесартин відразу прилипнув до магніту, а червонуватий піроп-альмандиновий гранат переміщувався за магнітом.

Після гранатів хризоліт (перидот) завдяки Fe є найбільш магнітним прозорим дорогоцінним каменем. У дорогоцінних каменях групи берилу залізочутливий іон заліза (Fe^{2+}) відповідає за вищу магнітну сприйнятливість, ніж залізометалевий (Fe^{3+}). Тож усі берили виявляють магнітне притягання (парамагнетизм), за виключенням морганіту, що є діамагнітним [2].

Оксиди хрому та ванадію мають меншу магнітну сприйнятливість і ви-

никають у нижчих концентраціях, і ці метали рідко виявляються з магнітом у дорогоцінних каменях. Як приклад – блакитний танзаніт, забарвлений ванадієм, є діамагнітним [2].

Блакитні сапфіри, які не показують магнітної атракції, виводять увесь свій синій колір із переносу заряду Fe^{2+} - Ti^{4+} , але більшість синіх сапфірів містять додаткове залізо і показують магнітну атракцію [2].

Іони Mn^{2+} також відповідають за червоний і рожевий колір у багатьох дорогоцінних каменях, таких як родохрозит (переважно напівпрозорий до непрозорого), який часом є навіть більш магнітним, ніж гранат спесартин. Іони Mn^{3+} створюють колір у набагато менших концентраціях, ніж Mn^{2+} , в результаті чого такі дорогоцінні камені є слабомагнітні або діамагнітні. Mn^{3+} створює червоний колір у турмаліні рубеліті, який, як правило, слабомагнітний, та рожевий колір у кунциті (рожевий сподумен), який є діамагнітним [2].

Магнітна атракція, яку часто можна бачити у безбарвних і кольорових син-

тетичних діамантах, виготовлених під високим тиском і високою температурою, зумовлена феромагнітними включеннями розплаву заліза та нікелю, які присутні як залишки виробничого процесу. Натомість природні діаманти та діаманти, колір яких покращено завдяки високим тиску і температурі, залишаються інертними [2].

Концентрація металів у камені теж очевидно є причиною магнітного притягання. Аквамарин нормального блакитного забарвлення буде сильно притягуватись до магніту, тоді як блідо забарвлені аквамарини притягуються слабо або взагалі інертні. Аналогічно можна спостерігати різні ступені притягання у блідо-зелених та яскраво-зелених хризопразах, забарвлених іонами нікелю.

З концентрацією металів тісно пов'язана природа забарвлення каменю. Ідіохроматичні камені демонструють дуже сильне притягання, що ми можемо бачити на прикладі багатьох гранатів, хризоліту, а також забарвлених марганцем родохрозиту і родоніту, навіть просто піднісши магніт до зразка. Але більшість дорогоцінних каменів є алохроматичними через значно нижчу концентрацію металів-хроміформів. Для визначення їх притягання застосовують флотаційний метод, що буде розглянуто нижче.

Валентність також є фактором магнетизму. Так, відомо, що чистий марганець як метал значно менш магнітний, ніж чисте залізо. Разом з тим, іони двовалентного марганцю мають високу магнітну сприйнятливість. Завдяки високій концентрації двовалентного марганцю (до 40 % MnO) спесартин є найбільш сильним магнітним гранатом. Альмандин, забарвлений двовалентним залізом, і андрадит, забарвлений тривалентним залізом, демонструють слабше притягання, ніж спесартин.

Іони хрому, ванадію і кобальту є дуже сильними хромофорами, і їх концентрація в дорогоцінному камінні занадто низька. Та все ж таки завдяки магніту їх можна виявити в уваровіті (хром), синтетичному смарагді (ванадій, зелений під фільтром Челсі), а також рідких яскраво-блакитній шпінелі і зеленому сфалериті (кобальт).

Іони двовалентної міді є причиною притягання до магніту таких мідистих мінералів, як бірюза, хризосола, малахіт, азурит та діоптаз.

Концентрація іонів заліза та титану, наприклад, задіяних у міжвалентному переносі заряду, є занадто малою, щоб встановити її за допомогою магніту. Але притягання відбувається, якщо камінь містить додаткове залізо. Так, у більшості блідо забарвлених сапфірів зі Шрі-Ланки реакція відсутня, тоді як темно-сині сапфіри з Мадагаскару та андалузит демонструють слабе магнітне притягання [2].

Діамагнітні камені

Деякі дорогоцінні камені, такі як опал і топаз, не забарвлені парамагнітними іонами металів. Їх колір пов'язаний з такими процесами, як дифракція світла з крихитних глобул з кремнезему (наприклад, опал) або через дефекти в атомній структурі кристала, що породжують кольорові центри (наприклад, топаз). Це саме стосується і тих дорогоцінних каменів, виникнення кольорових центрів яких викликане опроміненням. Такі дорогоцінні камені, таким чином, є діамагнітними, тобто вони відштовхуються від магніту при флотаційному методі досліджень. Діамагнітними дорогоцінними каменями, колір яких зумовлений існуванням кольорових центрів, також є алмаз, циркон, сподумен і кварц (аметист, цитрин, димчастий кварц). Усі ці дорогоцінні камені показують магнітне відштовхування, а не притягання. Синтетична шпінель, забарвлена іонами кобальту і заліза, і синтетичний сапфір, забарвлений іонами заліза, також демонструють діамагнетизм. Нами було застосовано цей метод для дослідження природної і синтетичної блакитних шпінелей (рис. 2). Природна сіро-блакитна шпінель виявила парамагнетизм, тоді як синтетична шпінель, забарвлена іонами заліза і

кобальту (червона у фільтрі Челсі), відштовхувалась від магніту.

Слід звернути увагу, що в деяких випадках такі камені, як апатит, кальцит та скло іноді є слабомагнітними через наявність у їх складі металевих барвників. В інших діамагнітних дорогоцінних каменях, таких як кварц і опал, макроскопічні та мікроскопічні вклучення також можуть привести до магнітного притягання.



Рисунок 2. Природна шпінель (ліворуч) на плотуку з коркового дерева притягується до магніту, синтетична кобальтова шпінель (праворуч) – відштовхується

Загальний перелік парамагнітного і діамагнітного дорогоцінного каміння та його синтетичних аналогів наведено у таблиці нижче.

Таблиця. Перелік дорогоцінного каміння та його синтетичних аналогів за магнітною сприйнятливістю

ПАРАМАГНІТНІ КАМЕНІ	ДІАМАГНІТНІ КАМЕНІ	
група гранату	амазоніт	лазурит
група турмаліну	бурштин	берил морганіт
група берилу	апатит	опал (без вклучень)
корунди	кальцит	перли
шпінелі	карнеол	кварц (без вклучень)
	алмаз	сапфір синтетичний
	флюорит	шпінель синтетична
	скло	топаз
	кунцит	танзаніт
	кістка (ікла моржа тощо)	циркон

Іноземними дослідниками в цій сфері рекомендується 10 напрямів практичного застосування магніту для діагностики дорогоцінного каміння [2]:

1) серед великих змішаних лотів (розпізнання більшості різновидів групи гранату);

2) для дорогоцінного каміння у сировині;

3) для каменів з індексом заломлення світла понад 1,78 (гранати спесартин і демантоїд, різновиди циркону тощо);

4) для каменів, що виглядають однаково;

5) для виокремлення синтетичних каменів та імітацій (природну блакитну шпінель в більшості випадків можна відрізнити від синтетичної блакитної шпінелі, а природний сапфір – від синтетичного)

6) для ідентифікації дублетів (складені камені притягуються лише з того боку, де присутня парамагнітна складова);

7) для діагностики облагороджених каменів (необлагороджений родохрозит притягується, натомість схожий на нього облагороджений кальцит є інертним);

8) для визначення регіону походження (сапфіри зі Шрі-Ланки демонструють найслабше магнітне притягання або навіть діамагнітну реакцію; є відомості щодо заниженої магнітної сприйнятливості колумбійських смарагдів через значно менший вміст Fe порівняно зі

смарагдами з інших регіонів, але для остаточних висновків потрібні додаткові дослідження);

9) для ювелірних виробів із дорогоцінними металами;

10) для каменів з магнітними вклученнями.

Скориставшись цими порадами, у змішаному лоті червоного каміння прямим методом ми швидко встановили залізовмісні різновиди гранатів. Те саме можна сказати і про необроблені родоліти й альмандини.

Цим самим методом було легко розрізнити однаково забарвлені камені з індексом заломлення світла понад 1,78, наприклад циркон-гіацинт і гранат-спецартин, а також зелений циркон і демантоїд.

Застосувавши флотаційний метод, за ознакою притягання-відштовхування розрізнили камені, що виглядають однаково: аквамарин і блакитний топаз та

природні і синтетичні шпінелі і сапфіри, а за силою притягання розрізнили турмалін-рубеліт і гранат-родоліт.

Висновок

Можна бачити, що перевагами неодимового магніту є простота, швидкість, ціна. Якщо потрібно швидко продемонструвати відмінність між камін-

ням, яке виглядає однаково (за кольором, за блиском тощо), або відрізнити деякі різновиди синтетичного каміння від природного, магніт буде дуже корисним помічником. Ну і звичайно, його можна використовувати для підтвердження результатів, отриманих за допомогою інших інструментів, як у навчальних цілях, так і під час експертизи дорогоцінного каміння.

Використані джерела / References

1. B. Hoover, B. Williams, C. Williams, C. Mitchell. Magnetic susceptibility, a better approach to defining garnets. The Journal of Gemmology. 2008. Vol. 31, №3-4. P. 91-103. URL: http://www.stonegrouplabs.com/magnetics_garnetchemistry.pdf.
2. Magnetism in Gemstones. An Effective Tool and Method for Gem Identification. URL: <https://www.gemstonemagnetism.com/index.html>.
3. Antoinette Leonard Matlins, Antonio C. Bonanno. Gem Identification Made Easy. Gemstone Press: 2-nd edition. 2003. 320 p.

УДК 549.091.5

S.V. Шевченко, кандидат геологических наук, заведующий кафедрой общей и структурной геологии
E-mail: shevchsergey@gmail.com

V.E. Смелова, студентка
E-mail: lera1999823@gmail.com

Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», пр. Д. Яворницкого, 19, г. Днепр, 49005, Украина

Применение неодимового магнита для диагностики драгоценных камней

Портативный неодимовый магнит является одним из самых полезных и наименее известных инструментов для идентификации драгоценных камней. Результаты работы демонстрируют возможности использования этого инструмента при проведении полевых геммологических исследований, а также непосредственно в розничной ювелирной торговле.

Ключевые слова: неодимовый магнит, драгоценные камни, диагностика, магнитная восприимчивость, парамагнетизм, диамагнетизм.

UDC 549.091.5

S. Shevchenko, PhD (Geol.), Head of Department of General and Structural Geology
E-mail: shevchsergey@gmail.com

V. Smyelova, student
E-mail: lera1999823@gmail.com

Dnipro Polytechnic University
19 D. Yavornytsky Ave., Dnipro, 49005, Ukraine

Usage of a neodymium magnet for gemstones diagnostics

A portable neodymium magnet is one of the most useful and least-known tools for identifying gems. The results of the work demonstrate the possibilities of using this tool in conducting field gemmological studies, as well as directly in the retail jewelry trade.

Keywords: neodymium magnet, gemstones, diagnostics, magnetic susceptibility, paramagnetism, diamagnetism.