

УДК 549.521.42

Ю.Д. Гаєвський, головний фахівець відділу експертизи дорогоцінного каміння¹

E-mail: gud@gems.org.ua

О.П. Беліченко, кандидат геологічних наук, керівник відділу експертизи дорогоцінного каміння¹

E-mail: lbgems@gmail.com

Н.І. Вовк, гемолог, GIA Graduate Gemologist²

E-mail: nv0672162915@gmail.com

¹Державний гемологічний центр України

вул. Дегтярівська, 38–44, Київ, 04119, Україна

²Інтернет-магазин: nvovkjewelry.com.ua

«Султаніт» – діаспор з ефектом зміни кольору

(Рекомендовано доктором геологічних наук, професором Деревською К.І.)

Подано відомості про унікальний різновид прозорого діаспору з ефектом зміни кольору, який відомий на світовому ринку коштовного каміння під торговими назвами «Султаніт» (Zultanite®) та «Царит» (Csarite™).

Наведено результати гемологічних досліджень зразків діаспору з ефектом зміни кольору та його імітації. Визначені гемологічні характеристики, проведено мікроскопічне вивчення, дослідження методом кількісного рентгенофлуоресцентного аналізу (EXDRF) та ІЧ-Фур'є спектроскопії.

Ключові слова: діаспор, «Султаніт», «Царит», діагностичні характеристики, гемологічна експертиза.

Вступ

У Державному гемологічному центрі України (ДГЦУ) було досліджено ограновані вставки та сировину ювелірного різновиду прозорого діаспору з ефектом зміни кольору, який добувають виключно в південно-західній Анатолії (Туреччина) [1–4]. На світовому ринку коштовного каміння він відомий під торговими назвами «Султаніт» (Zultanite®) та «Царит» (Csarite™).

Кристали анатолійського діаспора ювелірної якості прозорі, мають переважно жовто-зелене забарвлення та ефект зміни кольору: жовто-зелений колір за денного (або еквівалентного) освітлення змінюється на оранжевий колір з відтінками фіолетового, рожевого, червоного за штучного освітлення лампою розжарювання (рис. 1).



Рисунок 1. Анатолійські діаспори з ефектом зміни кольору, зліва – денне світло, справа – під лампою розжарювання, А) маса 7,9 карата, Б) маса 15,7 карата, В) маса 7,9 карата (фото Вовк Н.)

Наразі цей різновид діаспору в комерційних масштабах видобувають тільки на родовищі метабокситів Ільбірдаги, яке розташоване між Егейським морем та озером Бафа в районі Мілас провінції Мугла на південному заході Туреччини (рис. 2).



Рисунок 2. Діаспороносний регіон, Туреччина

Анатолійський діаспор з ефектом зміни кольору – рідкісне на світовому ювелірному ринку дорогоцінне каміння, вкрай зрідка зустрічається на українському ювелірному ринку. Здебільшого, особливо в недорогих ювелірних виробках, під назвою «султаніт» продають скло з ефектом зміни кольору.

Об'єкт дослідження: зразки сировини та ограновані вставки анатолійського діаспору, придбані на родовищі Ільбірдаги одним з авторів статті, та його імітації, які продають під назвою «султаніт».

Мета роботи – виконати гемологічні, хімічні, фізичні та оптико-мікроскопічні дослідження зразків діаспору з ефектом зміни кольору та його імітації.

Методи досліджень

Визначення діагностичних гемологічних характеристик проводилося за допомогою стандартного гемологічного обладнання. Для мікроскопічних досліджень використано гемологічний мікроскоп «Gemmaster L 230V».

Дослідження методом ІЧ-Фур'є спектроскопії виконувалося за допомогою спектрометра моделі «Nicolet 6700» виробництва «Thermo Fisher Scientific» на приставці «Collector II» відповідно до «Методики діагностики дорогоцінного каміння методом ІЧ-Фур'є спектроскопії».

Вимірювання спектрів рентгенівського випромінювання проводилося методом РФА (EXDRF) за допомогою спектрометра енергій рентгенівського випромінювання «СЕР-01» моделі «ElvaX-Light» з інтервалом досліджень від Na до U відповідно до «Методики діагностики дорогоцінного каміння та його заміників методом рентгенофлуоресцентного аналізу».

Виклад основного матеріалу

Діаспороносний регіон розташований у районі гір Ільбір району Мілас провінції Мугла на південному заході Туреччини. Район Мілас знаходиться в південно-західній частині кристалічного масиву Мендерес, в якому співіснують панафриканські метаморфізовані та альпійські тектонометаморфізовані породи [2]. Таким чином, геологічне формування діаспорового

кристалічного району було пов'язано з геотектонічною еволюцією Мендереського масиву, значною мірою модифікованого пізньоальпійськими конструкційними деформаціями. У геологічному відношенні кристалічний масив Мендерес має двоярусну будову, яка презентована пізньопротерозойською основною серією та фанерозойською покривною серією. Метаморфізована основна серія представлена головно гнейсами та сланцями пізньопротерозойського часу (750–550 млн р.), покривна серія – сланцями пермь-тріасового часу (290–200 млн р.) і мармурами верхньокрейдово-палеогенового часу (~100–23,8 млн р.) [2]. Отже, формування масиву відбувалося протягом тривалого часу під впливом принаймні двох різних етапів альпійського орогенезу і вирізняється за різноманітністю, високою якістю і розміром мінеральних утворень, зокрема діаспору, димчастого кварцу, аквамарину, кіаніту, рутилу [2]. Проте лише родовище метабокситів Ільбірдаги, яке містить анатолійський діаспор, є унікальним і має промислове значення для цього мінералу.

Перше сучасне геологічне вивчення бокситів у районі Мілас (Мугла) було проведено в 1949 році. Внаслідок цього дослідження випадково були виявлені кристали діаспору в родовищі метабокситів Ільбірдаги. Згодом родовище привернуло увагу Головного управління досліджень та розвідки корисних копалин (МТА) Туреччини, яке в 1958–1972 роках провело геологічну розвідку.

Пізніше родовище було передано іншому офіційному гірничодобувному бюро Туреччини «Etibank Mining Co.» переважно для добування бокситової руди (і унікальних кристалів діаспору). У період з 1972 по 1982 рік компанія «Etibank» розробляла на пагорбах Кючюкчамлик і Бююкчамлик в основному метабокситові руди як промислову сировину, було видобуто близько 200 000 тонн руди. Добування корисних копалин здійснювали за допомогою підземних галерей. У період з 1978 по 1982 рік було видобуто близько 9,5 тонн кристалів ювелірного діаспору. Кристали, краса та рідкість яких були оцінені іноземними колекціонерами мінералів та музеями світу, продавалися за високими цінами, особливо на відомих мінералогічних ярмарках у Мюнхені (Німеччина), Базелі (Швейцарія) і Тусоні (Аризона, США) [2].

З 1982 по 2005 рік видобуток корисних копалин на родовищі був зупинений за рішенням уряду Туреччини. А втім, багато зразків діаспору потрапляли, зокрема, до США та Канади нелегальним шляхом.

Зрештою, у 2005 році всі ліцензії на розвідку та експлуатацію родовища Ільбірдаги було продано турецькій приватній компанії «Milenyum Mining Co». Компанія знову відкрила копальню і почала видобувати як бокситову руду, так і діаспор ювелірної якості (рис. 3, 4). Щоб активізувати просування цього дорогоцінного каменю на світовий ювелірний ринок, власник компанії залучив інвестиції спонсора із США.

З метою маркетингової стратегії анатолійському діаспору була надана торгова назва «Султаніт» (Zultanite®) на честь 36 султанів імперії Османа. З 2015 року цей дорогоцінний камінь продається ще під одною торговою назвою – «Царит» (Csarite®) в основному на американському та європейському ринках [5-7].

Як зазначено вище, бокситові руди та сировину діаспору добуває і продає компанія «Milenyum Mining Bauxite Establishment» (рис. 4). Оскільки бокситова порода, що вміщує діаспор, є джерелом високоякісного алюмінію,



Рисунок 3. Розробка родовища Ільбірдаги [7]

«Milenyum» працює разом із дочірньою компанією «Beyler Metal Mining», спеціалізованим добувачем бокситів. Це не тільки мінімізує відходи та максимізує ефективність, але також мінімізує вплив на навколишнє середовище і розподіляє соціально-економічну й екологічну відповідальність.



Рисунок 4. Турецьке підприємство «Milenyum Mining», яке повністю контролює видобуток діаспору [7]

Сировину анатолійського діаспору добувають сучасними механізованими методами. Проте є певні проблеми, пов'язані з видобуванням корисних копалин на родовищі, – кристали діаспору ювелірної якості і звичайна бокситова руда знаходяться поруч. Тому після ідентифікації жили діаспору команда фахівців спочатку вручну вибирає кристали (рис. 5).



Рисунок 5. Фахівець вручну вибирає кристали діаспору [7]

Приблизно 70 % необробленого діаспору вилучають під час цього процесу. Весь камінь, що залишився, потім від-



Рисунок 6. Відбір кристалів діаспору з бокситової руди на автоматизованій лінії [7], очищені кристали діаспору для наступного етапу – сортування (фото Вовк Н.)

бирається на сортувальній ділянці, де його очищають і ретельно сортують за розміром і якістю (рис. 6).

Сировина анатолійського діаспору представлена прозорими кристалами жовто-зеленого кольору, які мають склоподібну смугасту зовнішню поверхню, ідеальну спайність, іноді великі розміри, та V-подібні двійники [1-3]. Лише близько 40 % великих кристалів діаспору, що видобувають на родовищі Ільбірдаги, мають ювелірну якість. Приблизно 60 % кристалів є непрозорими та мають блідо-зелене забарвлення.

Деякі кристали можуть досягати ваги до 3 кг. Однак у середньому необроблені кристали діаспору мають вагу від 50 до 400 г [2, 7].

Ювелірний ринок

Активне просування «Султаніту» у США почалося із залученням нових партнерів та інвестицій компаніями з маркетингу «Zultanite®» і «Zultanite® Gems LLC» [5, 6]. У 2015 році була створена нова торгова марка «Csarite®» та вебсайт csarite.com [7] для продажу на американському та європейському ринку. Була проведена велика рекламна кампанія. Група дизайнерів ювелірних виробів з усього світу створила колекцію люксових ювелірних прикрас, центром яких є унікальний діаспор. Представлений в ексклюзивних і вишуканих ювелірних виробках, «Царит» привернув увагу багатьох знаменитостей (рис. 7).

Наразі найбільший огранований діаспор має масу 121,65 карата, він огранований у формі груші з кристалу масою близько 430 грамів. Президент компанії «Milenyum Mining» зазначив: «Цей високоякісний «Царит», безумовно, є найбільшим у світі на цей момент, і ми очікуємо, що роздрібна ціна становитиме близько одного мільйона доларів» [7].

Раніше найбільшим огранованим ювелірним діаспором був камінь масою 88,49 карата, теж форми «груша», який у 2014 році отримав нагороду AGTA (The American Gem Trade



Рисунок 7. Каблучка та кулон «Csarite®», дизайнер Erica Courtney [7]



Рисунок 8. «Csarite®», 88,49 карата [8]

Association) «Cutting Edge Award» у категорії «Феноменальні дорогоцінні камені» (рис. 8).

Аналіз ринку свідчить про відсутність єдиного підходу до ціноутворення. Так, на сайті компанії zultanite.com [5] наведено рекомендовані роздрібні ціни з розбивкою за масовими групами, тоді як Міжнародне товариство дорогоцінних каменів (International Gem Society) у своєму довіднику цін вказує дуже «розмитий» діапазон без урахування маси, якості та зміни кольору та значно менші цифри вартості ніж на сайті zultanite.com.

Є повідомлення про синтез діаспору [9], але на ювелірному ринку він невідомий.

На ринку України в ювелірних виробках діаспор майже не представлений, але ювелірні вставки з діаспору для виготовлення індивідуальних прикрас продаються в деяких інтернет-магазинах, наприклад, nvovkjewelry.com.ua [10].

Майже весь діаспор, що представлений на ринку України як «Султаніт» не є діаспором, а є його імітацією – склом з



Рисунок 9. Імітації «Султаніту», вітрина ювелірного магазину, Мармарис (фото Вовк Н.)

ефектом зміни кольору або штучним продуктом – кубічним цирконієм.

Схожа ситуація і на батьківщині «Султаніту» – Туреччині, де дуже мало природного каменю і багато імітацій. Одну з імітацій «Султаніту» продають під назвою «алексит» у ювелірних прикрасах зі срібла та золота (рис. 9). Наталія Вовк провела декілька ідентифікацій цієї імітації в магазинах Туреччини і виявила, що вона є склом з ефектом зміни кольору.

Гемологічні властивості анатолійського діаспору

Загальні відомості.

Кристали анатолійського діаспору мають переважно жовто-зелене, іноді сіро-коричневе забарвлення. Крім того, всі прозорі кристали мають ефект зміни кольору. Загалом вирізняють три варіанти зміни кольору за денного (або еквівалентного) та штучного освітлення відповідно:

- жовто-зелений або сіро-коричневий / оранжевий (з відтінками),
- жовто-зелений / фіолетово-рожевий,
- жовто-зелений / червонувато-коричневий (пурпурно-коричневий).

Червонувато-коричневий діаспор є найрідкіснішим. Іноді зустрічаються камені з ефектом «котячого ока».

Гемологічний інститут Америки відніс ювелірний діаспор за чистотою до типу II (тобто для ювелірної якості допускаються незначні вclusions, що помітні неозброєним оком).

Здебільшого кристали діаспору мають типові V-подібні двійники або двійники типу хвоста ластівки (рис. 10). Довжина їх коливається від 1 до 35 см, в середньому 5 см.



Рисунок 10. V-подібний двійник діаспору (фото Гасвського Ю.)

Усі кристали (як ювелірної якості, так і непрозорі) родошица Ільбірдаги мають переважно досконалу спайність по [010] і, меншою мірою, хорошу спайність по [110] (рис. 11). Однак кристали з ідеальною спайністю здебільшого не придатні для гранування, оскільки під час гранення каменя через розколювання втрачається до 98 % кристала. Його неімовірно низький вихід придатного (2 %) є одною з причин того, що огранені діаспори масою більше 5 каратів дуже рідкісні [2].

У ДГЦУ було досліджено зразки анатолійського діаспору, придбані на родовищі, а також імітацію діаспору зі скла.

Діагностичні характеристики діаспору

Оптичний характер: анізотропний, 2+.

Показники заломлення: $n_g = 1,751$, $n_m = 1,723$, $n_p = 1,703$.
Двозаломлення: 0,048.

Густина: 3,32 г/см³.

Плеохроїзм: сильний трихроїзм (рис. 12).

Характер флуоресценції:

довжина хвилі 365 нм – відсутня;

довжина хвилі 254 нм – відсутня.

Системи двійників: присутні.

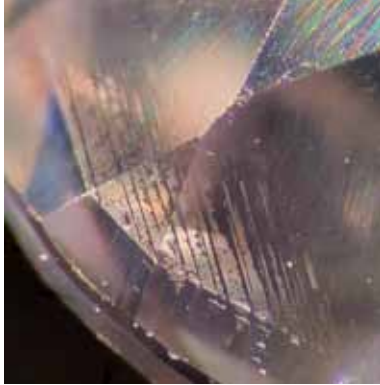


Рисунок 11. Спайність в огранованій вставці діаспору, поле зору 1,7 мм (фото Гаєвського Ю.)



Рисунок 12. Ефект плеохроїзму в діаспорі (фото Гаєвського Ю.)



Рисунок 13. Газово-рідинні включення, поле зору 2–3 мм (фото Гаєвського Ю.)



Рисунок 14. Канали росту, поле зору 5 мм (фото Гаєвського Ю.)

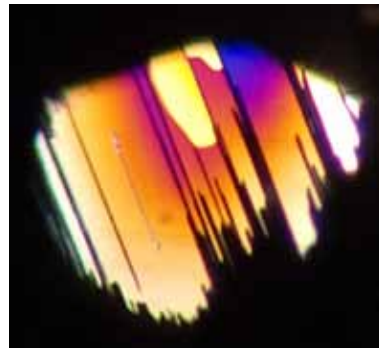


Рисунок 15. Іризація по спайності, поле зору 0,8 мм (фото Гаєвського Ю.)

Оптичний ефект зміни кольору:

- колір за денного освітлення – жовтувато-зелений;
- колір за штучного освітлення – оранжево-рожевий.

Під час оптико-мікроскопічних досліджень вставки методом темнопольної та світлопольної мікроскопії разом із застосуванням спрямованого волоконно-оптичного освітлення було встановлено та сфотографовано газово-рідинні включення (рис. 13), канали росту (рис. 14), іризація по спайності (рис. 15).

Хімічний склад діаспору, визначений за результатами кількісного рентгенофлуоресцентного аналізу, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Хімічний склад діаспору (мас. %)

Елемент	Концентрація
Al ₂ O ₃	84,07
SiO ₂	0,28
CaO	0,04
TiO ₂	0,04
V ₂ O ₅	0,003
Cr ₂ O ₃	0,015
MnO	0,015
FeO _{заг}	0,52
Ga ₂ O ₃	0,009

Примітка. Хімічний склад діаспору визначено на обладнанні ТОВ «Елватех».

Унаслідок детального дослідження анатолійського діаспора [2, 11] було визначено, що основними елементами-хромофорами є Cr³⁺, V³⁺, Fe²⁺, Ti. Усі ці хромофори можуть відігравати певну роль у створенні ефекту зміни кольору.

Дослідження методом ІЧ-Фур'є спектроскопії здійснювалося за кімнатної температури в спектральному діапазоні 7000–400 см⁻¹, кількість сканувань у циклі вимірювання – 512 за роздільної здатності 4 см⁻¹.

За результатами досліджень у діаспорі було виявлено широку зону поглинання близько 2200–3200 см⁻¹ (рис. 16). Ця зона пов'язується [11] з наявністю у кристалічній ґратці ОН-груп.

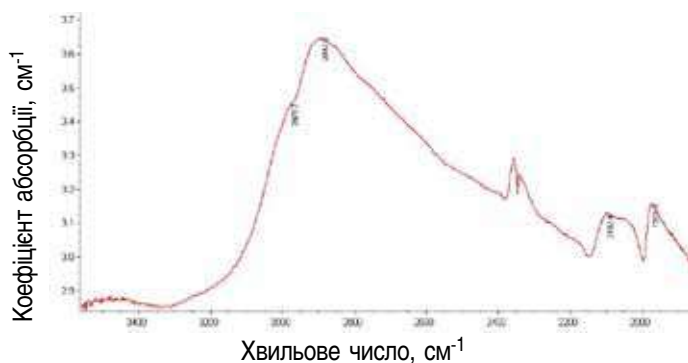


Рисунок 16. ІЧ-спектр діаспору

Імітація діаспору зі скла з ефектом зміни кольору

Діагностичні характеристики скла

Оптичний характер: ізотропний.

Показник заломлення: $N = 1,677$.

Густина: $3,57 \text{ г/см}^3$.

Характер флуоресценції:

довжина хвилі 365 нм – відсутня;

довжина хвилі 254 нм – відсутня.

Оптичний ефект – ефект зміни кольору (рис. 17):

- колір за денного освітлення – жовто-зелений;
- колір за штучного освітлення – червонувано-оранжевий.

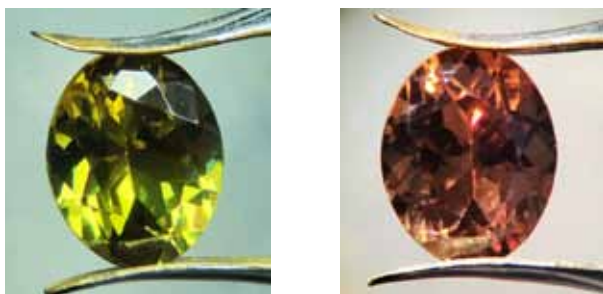


Рисунок 17. Імітація діаспору зі скла з ефектом зміни кольору, зліва – денне світло, справа – лампа розжарювання (фото Гаєвського Ю.)

Хімічний склад імітації було досліджено методом якісного РФА. За результатами вивчення виявлено підвищений вміст рідкоземельних елементів (рис. 18).



Рисунок 19. Спектр поглинання рідкоземельних елементів у склі

Підвищений вміст рідкоземельних елементів підтверджено дослідженням спектра поглинання імітації за допомогою призмового спектроскопа (рис. 19).

У дослідженні подібної імітації діаспору зі скла [12] спектр поглинання у видимому діапазоні показав типовий спектр скла з рідкоземельними елементами Pr^{3+} і Nd^{3+} .

Висновки

Анатолійський діаспор з ефектом зміни кольору, який має торгові назви «Султаніт» і «Царит», – рідкісне на світовому ювелірному ринку дорогоцінне каміння, на українському ювелірному ринку зустрічається вкрай зрідка. Його імітації, що продаються як природний «Султаніт», представлені здебільшого склом з ефектом зміни кольору.

Проведено комплексні гемологічні дослідження зразків анатолійського діаспору, придбаного на родовищі, та його імітацій. Визначено діагностичні характеристики, проведено хімічні, спектроскопічні та оптико-мікроскопічні дослідження.

Отримані результати досліджень анатолійського діаспору та його імітацій внесено в довідкові бази даних ДГЦУ, бази інфрачервоних спектрів і спектрів рентгенівського випромінювання коштовного каміння ДГЦУ.

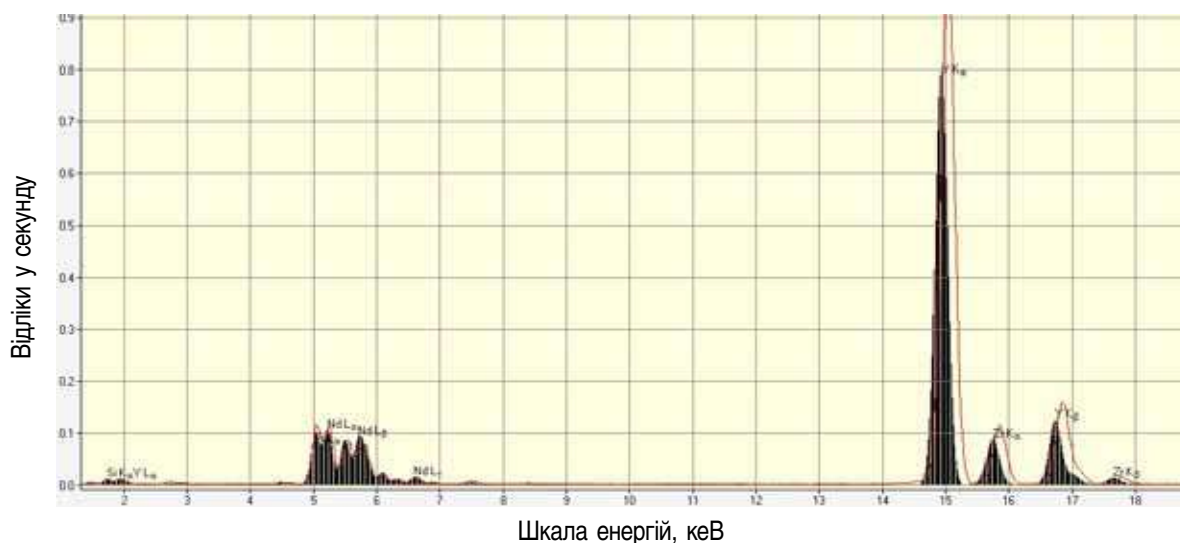


Рисунок 18. Спектр рентгенівського випромінювання скла з ефектом зміни кольору

Використані джерела / References

1. Hatipoglu M., Akgun M. Zultanite, or colour-change diaspore from the Milas (Mugla) Region, Turkey. *Australian Gemmologist*. 2009. Vol. 23. P. 558–562.
2. Hatipoglu M. Gem-Quality Diaspore Crystals as an Important Element of the Geoheritage of Turkey. *Geoheritage*. 2010. № 2. P. 1–13.
3. Hatipoglu M. Gem-quality transparent diaspore (zultanite) in bauxite deposits of the Ilbir Mountains, Menderes Massif, SW Turkey. *Mineralium Deposita*. 2010. Vol. 45. No. 2. P. 201–205.
4. Diaspore. URL: <https://www.mindat.org/min-1285.html> (date of access: 28.08.2023).
5. Zultanite®. URL: <https://zultanite.com> (date of access: 28.08.2023).
6. Zultanite. URL: <https://zultanite.org> (date of access: 28.08.2023).
7. CSARITE®. URL: <https://www.csarite.com> (date of access: 28.08.2023).
8. AGTA. URL: <https://agta.org> (date of access: 28.08.2023).
9. Tsuchida T. Hydrothermal synthesis and characterization of diaspore, $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00581103> (date of access: 28.08.2023).
10. N.VOVK.jewelry. URL: nvovkjewelry.com.ua (date of access: 28.08.2023).
11. Ye M, Shen AH, Wei P. Gemmological and Spectral Characteristic of Zultanite: Colour-Change Diaspore. *Gems & Gemmology*. 2016. Vol. 18, No. 5, P. 34–39.
12. Xiaoyan Yu, Bijun Guo, Xue Jiang, Weirui Kang. Color-Change Glass as a Zultanite Imitation. *Gems & Gemology*. 2016. Vol. 52. No. 4. P. 434–436.

UDC 549.521.42

Yu. Gayevsky, Chief Specialist of the Department of Examination of Precious Stones¹
E-mail: gud@gems.org.ua

O. Belichenko, Ph.D. (Geol.), Head of the Department of Examination of Precious Stones¹
E-mail: lbgems@gmail.com

N. Vovk, GIA Graduate Gemologist²
E-mail: nv0672162915@gmail.com

¹State Gemmological Centre of Ukraine
38–44 Deghtyarivska Str., Kyiv, 04119, Ukraine

²Internet shop: nvovkjewelry.com.ua

«Zultanite» – diaspore with the color-change effect

The information is presented on a unique variety of transparent diaspore with a color-change effect, which is known in the global gemstone market under the trade names Zultanite (Zultanite®) and Csarite (Csarite™).

The results of gemmological studies of diaspore specimens with the effect of color change and its imitation are presented. Gemmological characteristics were determined, microscopic examination, quantitative X-ray fluorescence analysis (EXDRF) and IR-Fourier spectroscopy were carried out.

Keywords: diaspore, zultanite, csarite, diagnostic characteristics, gemmological expertise.