

# КОШТОВНЕ ТА ДЕКОРАТИВНЕ КАМІННЯ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

Засновник – Державний  
гемологічний центр України

Виходить 4 рази на рік  
Заснований у вересні 1995 року

**Редакційна колегія:**

Гелета О.Л.  
(головний редактор, к.г.н.)  
Беліченко О.П.  
(заст. головного редактора, к.г.н.)  
Баранов П. М. (д.г.н.)  
Белевцев Р.Я. (д.г.-м.н.)  
Євтехов В.Д. (д.г.-м.н.)  
Михайлов В.А. (д.г.-м.н.)  
Павлишин В.І. (д.г.-м.н.)  
Платонов О.М. (д.г.-м.н.)  
Тарашан А.М. (д.г.-м.н.)  
Лисенко О.Ю. (к.т.н.)  
Белевцев О.Р. (к.г.н.)  
Татарінцев В.І. (к.г.-м.н.)

**Редакція:**

Максюта О.В. (літературний редактор)  
Манохін О.Г. (технічне забезпечення)  
Манохіна Л.В. (дизайн і верстка)  
Максюта О.В. (дизайн і верстка)

Свідоцтво про державну реєстрацію  
друкованого засобу масової інформації:  
серія КВ № 1587 від 27.07.1995

**Видавець та виготовлювач:**

Державний гемологічний центр України  
(ДГЦУ)

**Адреса редакції, видавця та  
виготовлювача:**

Державний гемологічний центр України  
вул. Дегтярівська, 38–44  
м. Київ, 04119  
Тел.: +380 (44) 492-93-28  
Тел./факс: +380 (44) 492-93-27  
E-mail: olgel@gems.org.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
серія ДК № 1010 від 09.08.2002

Підписано до друку 04.09.2015  
за рекомендацією  
Науково-технічної ради ДГЦУ

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 5,58.  
Тираж 35 пр.  
Папір офсетний, друк цифровий.  
Ціна 30 грн 00 коп.

На першій сторінці обкладинки:  
напівдорогоцінне каміння.  
Фото <http://cs413523.vk.me/>

Передруківання матеріалів журналу можливе  
лише з дозволу редакції.  
Думка редакції може не збігатися з думкою  
автора.

© Коштовне та декоративне каміння, 2015

## ЗМІСТ

**№ 3 (81)**  
вересень 2015

<b>ВІД РЕДАКЦІЇ</b> .....	3
<b>СИРОВИННА БАЗА</b>	
<i>Гулій В., Бояр Г., Бояр А., Огорілко Я.</i> Алебастр Західної України: речовинний склад, походження, історичне і культурне значення.....	4
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКИ</b>	
<i>Лисенко О., Белевцев О., Грущинська О., Ємельянов І., Таран М., Лисиченко Г., Сотнікова І.</i> Дослідження облагороджених топазів методом оптичної спектроскопії.....	10
<i>Беліченко О.</i> Глесит – «індонезійський бурштин».....	16
<i>Беліченко О., Гаєвський Ю., Деревська К., Ладжун Ю., Фуголь Л.</i> Комплексні гемологічні дослідження шпінелі.....	20
<i>Рузіна М., Терешкова О., Вавриш Н., Матюшкіна О.</i> Типоморфізм алмазів кімберлітів трубки Лорелей.....	27
<b>ТЕХНОЛОГІЇ</b>	
<i>Демченко Е., Мороз І., Бодигин С.</i> Экологическое обоснование производства пенобетона неавтоклавного твердения с использованием отходов производства камнеобрабатывающего предприятия.....	30
<b>КАЛЕНДАР ВИСТАВОК</b>	
Коштовне каміння.....	34
Декоративне каміння.....	35
<b>ІНФОРМАЦІЯ</b> .....	36

# PRECIOUS AND DECORATIVE

# STONES

SCIENTIFIC PRACTICAL JOURNAL

Issued quarterly  
Founded in September 1995

**№ 3 (81)**  
september 2015

FOUNDER – STATE GEMMOLOGICAL  
CENTRE OF UKRAINE

**Editorial Board:**

Geleta O.  
(editor-in-chief, p.h.d.)  
Belichenko O.  
(deputy editor-in-chief, p.h.d.)  
Baranov P. (dr.)  
Belevtsev R. (dr.)  
Evtchov V. (dr.)  
Myhailov V. (dr.)  
Pavlishin V. (dr.)  
Platonov O. (dr.)  
Taraschan A. (dr.)  
Lysenko O. (p.h.d.)  
Belevtsev O. (p.h.d.)  
Tatarintzev V. (p.h.d.)

**Executive Editors:**

Maksyuta O. (Literary editor)  
Manokhin O. (Technical maintenance)  
Manokhina L. (Design and imposition)  
Maksyuta O. (Design and imposition)

**Certificate on State Registration for  
printed means of mass media:**  
series KB № 1587, dated 27.07.1995

**Publisher and manufacturer:**  
State Gemmological Centre of Ukraine

**Address of the edition, publisher and  
manufacturer:**  
State Gemmological Centre of Ukraine  
38-44, Deghtyarivska Str., Kyiv  
04119, Ukraine  
Tel.: +380 (44) 492-93-28  
Tel./fax: +380 (44) 492-93-26  
E-mail: olgel@gems.org.ua

**Publisher certificate number:**  
ДК 1010 dated 09.08.2002

Signed for printing 04.09.2015  
by recommendation of the  
Scientific-Technical Board SGCU.

Format 60×84/8. Conditional quires 5,58.  
Circulation 35 ps.  
Offset paper, digital.  
Price 30.00 грн.

The cover:  
semi-gems stones.  
Photo by <http://cs413523.vk.me/>

Reprinting of the magazine materials is  
possible only with the permission of the  
editorial staff.  
Any opinions expressed in signed articles are  
understood to be the opinions of the authors  
and not of the publisher.

## CONTENTS

<b>FROM THE EDITORS</b> .....	3
<b>RAW MATERIALS</b>	
<i>Gulyi V., Boyar G.-P., Boyar A.-V., Ogorilko Ya.</i> Alabaster Western Ukraine: material composition, origin, historical and cultural significance.....	4
<b>RESEARCH AND DEVELOPMENT</b>	
<i>Lysenko O., Belevtsev O., Gruschinska O., Emelyanov I., Taran M.</i> Research of the treated topazes by optical spectroscopy method.....	10
<i>Belichenko O.</i> Glessite – “indonesian amber”.....	16
<i>Belichenko O., Gayevsky Yu., Derevska K., Ladgun Yu., Fygod D.</i> Comprehensive gemological study of spinel.....	20
<i>Ruzina M., Tereshkova O., Wavre N., Matyushkina O.</i> Typomorphic diamond kimberlite pipes Laurel.....	27
<b>TECHNOLOGY</b>	
<i>Demchenko E., Moroz I., Bodigin S.</i> Environmental study of foam concrete non-autoclave curing using waste products stone processing enterprise.....	30
<b>EXHIBITIONS CALENDAR</b>	
Precious stones.....	34
Decorative stones.....	35
<b>INFORMATION</b> .....	36

Шановні читачі!

Представляємо до вашої уваги вересневий номер журналу «Коштовне та декоративне каміння» і пропонуємо ознайомитися з новими публікаціями.

Корисним для фахівців і гемологів-аматорів буде спільне дослідження українських (Львівський національний університет ім. І. Франка) та австрійських науковців (Департамент мінералогії Музею природного середовища Joanneum (м. Грац), Департамент географії і геології Паріс-Лодрон університету Зальцбурга) стосовно вивчення речовинного складу, походження, історичного та культурного значення алебастру з родовищ Західної України.

У цьому номері представлено публікації, присвячені комплексному гемологічному дослідженню дорогоцінного каміння, а саме вивченню облагороджених топазів методом оптичної спектроскопії та дослідженню гемологічних, фізичних і хімічних діагностичних характеристик природної, синтетичної і облагородженої шпінелі. Цікавим для спеціалістів буде дослідження щодо визначення мінералого-петрографічного складу і вивчення типоморфізму алмазів трубки Лорелей.

Актуальним питанням захисту довкілля присвячена стаття колективу авторів, де запропонована технологія раціональної екологічно чистої утилізації відходів камінеобробного підприємства шляхом використання шламу як наповнювача неавтоклавного пінобетону.

Цікавою і пізнавальною є публікація стосовно нового на українському ринку виду виконних смол – індонезійському глесситу. Подано його короткий опис, наведено інформацію про історію вивчення, видобування і використання, описані гемологічні властивості та унікальні особливості глесситу.

Всього вам найкращого і хай щастить!

Редакція журналу  
«Коштовне та декоративне каміння»

Dear Readers!

We present the September issue of "Precious and Decorative Stones" magazine to your attention, and we offer you to learn first-hand about new publications.

A joint research of Ukrainian scientists from Ivan Franko National University of Lviv with Austrian scientists from Mineralogy Department of Universalmuseum Joanneum in Graz as well as Geography and Geology Department of Paris Lodron University of Salzburg on the study of material composition, origin, historical and cultural significance of alabaster deposits in Western Ukraine will be useful for professionals and amateur gemologists.

This issue presents the publication on the comprehensive gemological research of gemstones, namely refined topaz study, using optical spectroscopy and also gemmological physical and chemical diagnostic characteristics of natural, synthetic and ennobled spinel research. A research regarding mineralogical and petrographic composition analysis test and a study of diamond typomorphism of Loreley kimberlite pipe will be interesting for specialists.

A group of authors presents an article about currently important environmental protection issues, in which the technology of efficient environmentally friendly waste disposal of a stone processing enterprise, using sludge as a non-autoclaved aerated concrete filling, is suggested.

A publication about a new kind of mineral resins in the Ukrainian market, namely Indonesian glessite, is also interesting and informative. A short description of the mineral is given, information about the history of research, production and use is provided and gemmological characteristics and unique features of glessite are described.

Kindest regards and best of luck!

Precious and Decorative Stones  
of Ukraine magazine editors



УДК 553.635

В.М. Гулій, доктор геолого-мінералогічних наук  
ЛНУ ім. І. Франка

Г.-П. Бояр

Департамент мінералогії, Музей природного середовища Joanneum, Австрія

А.-В. Бояр

Департамент мінералогії, Музей природного середовища Joanneum, Австрія

Департамент географії і геології, Паріс-Лодрон університет Зальцбурга, Австрія

Я.І. Огорілко

ЛНУ ім. І. Франка

# Алебастр Західної України: речовинний склад, походження, історичне і культурне значення

*В данной статье приведены химический состав и основные характеристики гипса и алебастра из Западной Украины, распределение которых в этом регионе связано с формированием тиранской свиты. Твердость алебастра 3 по шкале Мооса, которая близка к твердости кальцита, объясняет популярность использования этого камня уже в течение многих веков. Полученные данные могут применяться с целью исследования и использования алебастра.*

*Characteristics of the hardness, dimensions of the cells, chemical compositions of the gypsum and alabaster from the Western Ukraine are given in this article. It is shown that distribution of the alabaster in this region is connected with the Badenian Tyras'ka Formation. Typically alabaster has hardness about 3.0 according to the Moohs scale. It is close to hardness of calcite and can explain success in utilization of this stone during centuries for cultural and architecture purposes. Distribution of the alabaster in the geological sections is similar to other varieties of the gypsum and typically reflects special faces during sedimentation processes. Obtained data can be used for exploration and utilization purposes.*

## Вступ

Алебастр – специфічна відміна гіпсу, яка вирізняється більшою твердістю (до 3,0 і вище за шкалою Мооса) і тонкозернистою або прихованокристалічною будовою агрегатів зерен. Алебастр добре полірується, але потребує менших зусиль і витрат під час обробки, даючи матеріал такої самої якості, як й інші мінерали і породи, що використовують як виробне каміння, завдяки нижчій твердості порівняно з ними. Це пояснює популярність алебастру ще за античних часів та правління фараонів,

коли створювались справжні витвори мистецтва із застосуванням досить простих технологій обробки [17]. З часом сфера використання алебастру розширилась, і нині багато виробів з нього почали використовувати в побуті та для прикраси інтер'єрів культових споруд, громадських закладів, окремих домашніх господарств [23, 24]. Вивчаючи властивості виробів з алебастру, які продукувались протягом століть, можна виявити розмаїття типів вихідних порід, що застосовували для виробних цілей, змінюючи один одного відповідно до розробки тих чи інших ділянок розвитку

алебастру. З іншої сторони, аналіз виробів у часі дає уявлення про зміну людських смаків і вподобань у різні історичні епохи. Так, в каплиці Боїмів у Львові ще за часів її спорудження в 1618 році використали медово-жовтуватий алебастр для декорації дерев'яного панно фігурками святих. Водночас у розташованому поруч кафедральному соборі основним декоративним матеріалом є сирій алебастр.

Хоча популярність алебастру завжди залишалась дуже високою, а кількість майстерень з його обробки була значною, в науковій літературі

давніх часів і сьогодення є небагато відомостей про його фізичні властивості, особливості походження і геологічні умови залягання. Зокрема, в одній з недавніх ґрунтовних розвідок про сульфати [26] згадок про алебастр зовсім мало. У капітальній праці про мінерали Карпат [27] зазначається, що алебастрові прояви відомі в Польщі у вигляді алебастрових стяжін діаметром у десятки сантиметрів, в Румунії – як сніжно-білі тонкозернисті маси, а також у Словаччині відомі тонкозернисті алебастрові прояви. Водночас про алебастр в Україні не згадується, хоча його родовища розроблялися впродовж століть у Західній Україні. Немає детальних відомостей про алебастр і в більш спеціальних розвідках [9, 10, 12, 13], хоча власне гіпс охарактеризовано вельми різносторонньо.

Разом з тим увага до алебастру останнім часом відроджується. Хоч і зникли численні каменерізні майстерні, які раніше десятиліттями функціонували в різних селах і містечках Львівської й Івано-Франківської областей, багато фахівців втратили кваліфікацію чи пішли з життя, виснажились запаси сировини високої якості, бажання використати вироби з алебастру зростають. У багатьох храмах для внутрішнього декору застосовують полірований сірий чи білий алебастр, а в селі Бошеві (давньому центрі каменерізно-майстерності Івано-Франківської області [7]) відкрито відповідний клас-філію художнього училища з Галича. Місцеві музеї цього регіону поповнюються зібранням виробів різних часів, які часто можна розглядати як твори мистецтва (рис. 1). Таке відродження галузі вимагає належних спеціалістів і майстрів, які б розуміли красу цього унікального матеріалу, його властивості, а також зі знанням могли б спрямовувати зусилля на пошуки природних об'єктів з певною якістю матеріалу для створення нових творів чи заміни фрагментів давніх, пошкоджених часом і несприятливими обставинами. Враховуючи, що головною причиною згорання цього виду господарської діяльності в регіоні було не вичерпання сировини, а соціально-політичні та воєнні обставини, можна очікувати нарощування запасів алебастру високої якості для подальшого розвитку. Водночас успіхи в цій справі неможливі без ґрунтового вивчення

складу, фізичних властивостей та умов формування алебастру, адже дотепер немає відомостей щодо причин утворення таких відмін гіпсу за майже ана-



Рисунок 1. Експонати старовинних виробів з алебастру в краєзнавчому музеї м. Рогатин



Рисунок 2. Ваза з алебастру, відібраного з відслонень південних околиць м. Ходорів

логічних геологічних умов [18]. Результати досліджень алебастру саме в такому напрямку і висвітлені в цій статті.

#### Історичний нарис використання алебастру

Слово «алебастр» існує в багатьох народах, запозичене з латини (*alabaster*) і грецької (*alabastros* або *alabastos*), де це слово вживалось як назва ваз, виготовлених з алебастру. За однією з версій, слово «*αλαβαστρος*» у стародавніх греків означало «білий», від чого і виникла назва матеріалу, з якого отримували гіпсові виливки, а також гіпсового каменю, який служив для нього сировиною. Алебастр – відомий молочно-білий мінерал, який може бути напівпрозорим, якщо зробити достатньо тонкий зріз. Під назвою «алебастр» історично відомі дві речовини. Перша – це власне різновид гіпсу. Друга – це кальцит. Ця помилка викликана високою твердістю алебастру, що наближається до 3 за шкалою Мооса, властивою кальциту. Найпростіше їх відрізнити за кипінням кальциту під дією кислоти. Алебастр використовують у таких базових галузях, як і мрамур, але в цілому алебастр є більш м'яким і зручнішим для обробки. Це сприяло використанню його у давні часи, коли технічні можливості в каменерізному мистецтві були обмежені. Крім того, алебастр застосовують як дроблений матеріал або порошок завдяки високій пластичності.

У Галичині одним з найвідоміших місць розробки алебастру було с. Журавно, хоча власне каменоломні розташовані на горі Бакоціно, яка знаходиться на протилежному, лівому, березі Дністра. Тут добували білий матовий алебастр з живописними гілчастими узорами, утвореними чорними і водянопрозорими прожилками. У XVII–XVIII ст. на горі стояв монастир, а наприкінці XIX ст. власник палацу Антоній Скушинський почав розробляти поклади алебастру з Бакоціно. Коли сім'я у 1917 р. породичалася через шлюб з князем Казимиром Чарторийським, алебастрові справи пішли активніше. Аналіз місцевого алебастру Гелена Чарторийська із Скушинських зробила вже після Першої світової війни. Вона на ту пору вже прослухала спецкурси в Італії щодо цього матеріалу. З середини 20-х рр. XX ст. алебастрове виробництво було відновлено. З італійського міста Вольterra запросили майстра Бертіні, який навчав місцевих робітників секретам обробки алебастру. Журавнівські алебастрові вироби експортували навіть до Канади і США, демонстрували на Всесвітній виставці в Парижі у 1925 р. і на щорічних «Східних Торгах» у Львові, ними прикрасили костел св. Єльжбети у Львові, будинки в Чернівцях, Рівному, Моршині, польських Ряшеві (Жешові), Катовіцах, Варшаві тощо [11]. Згодом журавнівський алебастр використали для оздоблення київського ЦУМу, московського і ленінградського метро і т. ін.

Ще одним історичним центром видобутку і обробки алебастру є село Колоколин, перша письмова згадка про яке стосується 1463 року. У селі є чотири археологічні пам'ятки та 9 пам'яток мистецтва, які знаходяться на державному обліку. Село, багате на поклади алебастрового каменю, було одним з осередків призабутого народного промислу – різьби по алебастру. У селі побутують легенди про те, як під час нападу татар на село люди ховалися від ворогів у давніх алебастрових печерах.

Очевидно, більш пізніми, але не менш масштабними були промисли в місті Ходорів, де в 30–40-і і навіть 50-і рр. працювало декілька каменерізних майстерень, які виготовляли найрізноманітніші естетично досконалі вироби, використовуючи високоякісну сировину з каменоломень гори Стінка, що на півдні від міста.

#### **Геологічні умови залягання алебастру в Західній Україні**

Судячи з наявних відомостей, алебастрові прояви, де були закладені каменоломні і видобували високоякісні матеріали, приурочені до тираської світи (приблизно 14 млн років), що складається з осадових гіпсів, ангідритів, гіпс-ангідритів і вторинних гіпсів, кам'яної солі і прошарків хемогенних вапняків, глин, мергелів і пісковиків [1, 4]. Потужність світи від 30–40 до 150–200 м.

Тираська світа представлена лагунно-морськими хемогенними відкладами [5], що з неузгодженням перекривають

нижній баден, а місцями і більш давні відклади. Відклади, які складають тираську формацію, під назвою «тираської гіпсоангідритової серії» були виділені О.С. Вяловим у 1951 р. [3]. Існують різні синоніми цих відкладів: «тираська серія», «третинний гіпс», «гіпсоангідритовий горизонт», «дністровсько-ратинський горизонт» й ін.

#### **Морфогенетичні відміни алебастру в Західній Україні**

Низка відслонень сульфатоносних порід тираської світи розповсюджена в численних пагорбах лівого берега р. Дністра від с. Журавно на заході до автомагістралі Львів – Івано-Франківськ на лінії Галич – Бурштин і Рогатин. Пагорби з абсолютними відмітками в 250–350 м над рівнем моря в цьому регіоні переважно складені гіпсоносними товщами, серед яких спорадично проявляються алебастрові ділянки. З високим ступенем вірогідності виділяти контури розповсюдження таких ділянок можна за історичними відомостями про розвиток каменерізних майстерень на цих теренах. Цікаво, що практично весь видобутий у каменоломнях матеріал використовувався: високоякісний масивний алебастр з красивим рисунком був вигідним для різьби (рис. 2), а відходи – для виготовлення алебастрових сумішей у будівельній справі.

Власне алебастрові тіла чи ділянки, де алебастр є головним компонентом, представлені кількома морфогенетичними відмінами. Серед основних відмін алебастру в регіоні виділяються

масивні пластові тіла сніжно-білого алебастру потужністю в декілька метрів (рис. 3). Вони виявлені в природних і штучних відслоненнях, а їх протяжність вимірюється кількома десятками метрів. Досить часто масивні відміни алебастру змінюються плямистими, коли з'являються фрагменти сірого, зеленуватого і жовтуватого алебастру серед світліших його відмін (рис. 4, 5). Часом вони асоціюють з більш крупнозернистим звичайним гіпсом сірого чи кремюватого відтінків.

Смугасті відміни алебастрових порід (рис. 6) за своїм геологічним положенням мало відрізняються від порід, складених гіпсом відповідної текстури. Їх потужності однотипні, а часом вони перешаровуються в межах одних і тих самих відслонень. При цьому вони відрізняються крупнозернистими агрегатами гіпсу на відміну від тонкозернистих алебастрових горизонтів з молочно-білим алебастром.

Вельми специфічними виділеннями є кулясті форми алебастру, які складені високосортним сніжно-білим тонкозернистим його агрегатом (рис. 6). Вони мають розміри до кількох десятків сантиметрів в діаметрі і зосереджені в межах окремих єдиних горизонтів, що дає основу зв'язувати їх появу із седиментаційними процесами, які приводили до формування власне гіпсоносних горизонтів. Важко передбачити появу таких відмін алебастру без детальних геологічних досліджень, але без сумніву, що це специфічна фаціальна відміна сульфатів, область поширення якої можливо геометризувати.



Рисунок 3. Вихід пласта алебастру на західній околиці с. Вільхівці



Рисунок 4. Плямиста текстура гіпсоалебастрових агрегатів. Східна околиця с. Підмихайлівці (Івано-Франківська обл.)



Рисунок 5. Плямиста текстура алебастру у відслоненнях околиць с. Явче (Івано-Франківська обл.)



Рисунок 6. Смугастий алебастр з включеннями кулястого сніжно-білого алебастру у відслоненнях лівого берега р. Луг на південь від м. Ходорова

**Основні характеристики фізичних властивостей і хімічного складу алебастру**

У масивних, шаруватих і смугастих відмінах гіпс зустрічається у вигляді видовжених лускуватих кристалів (до 35 мкм у довжину), які мають слабу субпаралельну орієнтацію. Такий гіпс вповнює майже мономінеральні прошарки і ділянки з рідкісними видовженими зернами (до 45 мкм у довжину) ангідриту і рідше новоутвореними кристалами (до 40 мкм у довжину) кварцу, кальциту і целестину. Тонкозернистий алебастр представлений відносно ізоморфними зернами гіпсу (до 10 мкм у довжину) з дуже щільною упаковкою кристалів (рис. 7).



Рисунок 7. Дрібнозернистий алебастр з ділянок з масивною текстурою

Алебастр має високу мікротвердість (до 3,3 за шкалою Мооса, табл. 1), це є найважливішою відмінною між алебастром й іншими типами гіпсу в регіоні. Дані в таблиці 1 є в межах значень, отриманих для мікротвердості ангідриту, зазначених раніше [10].

Таблиця 1. Мікротвердість алебастру

N	Мікротвердість, кг/мм <sup>2</sup>	Твердість за шкалою Мооса	Примітки
Середнє	77,54	2,98	Значення є однорідними
Межі коливань значень	58–103	2,7–3,3	

Намагаючись встановити всі відміни між власне алебастром і звичайним гіпсом, проаналізовано їх рентгенометричні характеристики (табл. 2). Встановлено, що однозначних різких відмін між алебастром і крупнокристалічним гіпсом немає. Водночас серед інших виділяється селеніт, який має вищі значення параметрів «а» і «b» і нижчі «с» і «β» у порівнянні з іншими різновидами.

В усіх морфологічних різновидах гіпсу в проведених аналізах відзначається вельми стабільний хімічний склад, типовий для гіпсу, і відсутність будь-яких важливих елементів-домішок, які відзначаються у випадках седиментації в досить специфічних геохімічних умовах.

**Основні закономірності формування алебастру в гіпсоносних товщах**

Численні дослідження І.В. Венгліньського і В.А. Горецького [2] показали, що утворення товщі гіпсоангідритів пов'язане з завершальним етапом нижнього бадена і початком верхньобаденської трансгресії. Н.Р. Ладженський [8], вивчивши розрізи міоценових відкладів у Передкарпатті, зробив припущення, що породи тираської світи формувались у декілька етапів, пов'язаних з періодичною інгресією моря. Після відкладення цих осадів настала нова верхньотортонська трансгресія, яка ліквідувала лагунний режим басейну Передкарпаття.

Таблиця 2. Параметри елементарної комірки гіпсу і алебастру з відслонень району м. Ходорова

N	a	b	c	β	Опис
N 1	5,680	15,180	6,520	118,38	сірий масивний
N 2	5,679	15,202	6,522	118,43	сірий масивний
N 3	5,679	15,202	6,522	118,43	світлий масивний
N 4	5,680	15,180	6,520	118,38	білий масивний
N 5	6,2845	15,2079	5,6776	114,09	селеніт
N 6	5,680	15,180	6,520	118,383	білий масивний
N 7	5,680	15,180	6,510	118,40	білий масивний

Таблиця 3. Хімічний склад гіпсу (А)

Зразок	N6C	N6C	N6M	N6M	N6Ma	N6Ma	N6F	N6F
Елементи	1	2	1	2	1	2	1	2
S	22,67	1,00	22,79	1,00	22,71	1,00	18,37	1,00
Ca	28,68	1,01	28,41	1,00	28,55	1,00	23,21	1,01
Сума катіонів		2,01		2,00		2,00		2,01

Примітка. 1 – вагові %; 2 – число іонів; С – кристал; М – матриця, F – оболонка.

Виділяються такі морфогенетичні різновиди гіпсу: крупнокристалічний і дрібнокристалічний. Крупнокристалічний гіпс зароджувався на межі розділу «осадок – розчин» у результаті дуже повільного випаровування поверхневих вод. Завдяки стабільним умовам гіпс утворював крупні витягнуті індивіди. Періодично процес природного гіпсоутворення переривався в результаті седиментації дрібнокристалічного гіпсу, який зароджувався в приповерхневих горизонтах водної товщі басейну. Осаджувалася дрібнозернистий гіпс епізодами, тимчасово ускладнюючи кристалізацію природного гіпсу в результаті його захоронення. Основою такого утворення гіпсу [6] є формування його в умовах періодичної зміни солоності і сезонного коливання температури вод басейну. У цій зміні нічим не виділяється етап формування алебастрової відміни гіпсу. Як і інші різновиди, алебастр утворював звичні пластові і лінзовидні тіла невеликої потужності (від декількох сантиметрів до десятка сантиметрів), узгоджено залягаючи в розрізі. Змішування алебастру з іншими морфологічними відмінами гіпсу в межах одних і тих самих геологічних тіл, які характеризуються узгодженим заляганням із суміжними прошарками, вказує на синседиментаційні зміни первинного залягання. Наявність вище у відслоненнях горизонтів, де відсутні сліди таких внутріформаційних перетворень при поступовому нарощуванні розрізу, свідчить про первинність вказаної неодноріднос-

ті, пов'язаної з флуктуаціями, що мають локальний характер [19, 20]. Деякі автори [14–16], описуючи ритмічні структури в гіпсоангідритовому горизонті, пояснюють їх виникнення впливом землетрусів на прилеглих площах [25]. Подібно до цього формування різних морфогенетичних типів алебастру зумовлено, очевидно, нестабільністю умов у басейні хомогенного осадкоутворення на стадії до стану літифікації осаду [21, 22]. У такому разі поява різних морфогенетичних типів алебастру є відображенням фаціальних відмін первинних алебастрових прошарків: від окремих відносно потужних алебастрових пластів до ділянок з малопотужними шарами із загальною смугастою текстурою і до окремих виділень алебастру в ділянках з плямистою текстурою, де поєднуються алебастрові виділення з неправильними контурами або кулястими формами і звичайним зернистим гіпсом. Ці висновки дають можливість під час пошуку перспективних потужних і масивних алебастрових тіл використати фаціальний аналіз.

#### Висновки

Таким чином, алебастр має давню історію використання для культурних і практичних цілей, включаючи створення визначних мистецьких витворів. Упродовж століть велася розробка родовищ алебастру, який характеризувався розмаїттям кольорів, структури і природних рисунків. Визначальними

властивостями алебастру, які зумовили таке колосальне використання його тривалий час, були висока твердість, природний колір і структура. Алебастр і звичайний гіпс дуже близькі за хімічним складом, але мають різні значення твердості, які визначаються розміром кристалів і щільністю розвитку окремих індивідів. Мінералогічні і геохімічні причини таких відмін залишаються все ще не з'ясованими. Це змушує зосередити майбутні зусилля досліджень на фізико-хімічних властивостях ймовірних розчинів, з яких кристалізувались окремі різновиди гіпсу, що дасть можливість визначити поля найцінніших різновидів алебастру та встановити вірогідні фаціальні переходи таких різновидів і їх співвідношення з іншими породами сульфатонесних товщ.

Ці відомості повинні послужити основою для оцінки фізичних властивостей алебастру в різних умовах і створення системи критеріїв щодо прогнозування можливої просторової локалізації найцінніших відмін алебастру. Для визначення можливих джерел походження окремих особливо цінних виробів та визначення подібних утворень за необхідності заміни втрачених фрагментів виробів бажаним є залучення доступних виробів з різними характеристиками. Отримані характеристики повинні стати основою для формування рекомендацій по відродженню культури використання алебастру в різних областях.



## Використана література

1. Бобровник Д.П., Карпенчук Ю.Р. К литологии и минералогии верхнетортонских отложений тирасской свиты внутренней зоны Предкарпатского прогиба // Вопросы литологии и петрографии. – 1969. – Кн. 1. – С. 46–56.
2. Венглинский И.В., Горецкий В.А. Стратотипы миоценовых отложений Волыно-Подольской плиты, Предкарпатского и Закарпатского прогибов. – К.: Наукова думка, 1979. – 176 с.
3. Вялов О.С. Общее структурное подразделение западных областей УССР. – К.: АН УССР, 1953. – 282 с.
4. Колтун В.И., Роскош Я.Т. Об условиях образования гипсов и ангидритов Приднестровья // Вопросы литологии и петрографии, 1969. – Кн. 1. – С. 172–176.
5. Кудрин Л.Н. Гипсы верхнего тортон юго-западной окраины Русской платформы // Уч. Зап. Львов. ун-та. Сер. геол. – 1955. – Т. 35. – В. 8. – С. 129–161.
6. Кульчечкая А.А. Генетические особенности гипса Приднестровья (по данным изучения включений) // Минералогический журнал. – 1982. – Т. 4. – № 3. – С. 61–66.
7. Курдидик А. Бовшівські алебастри // Рогатинська земля.– Торонто, 1996. – Т. 1.
8. Ладыженский Н.Р. Геология и нефтегазоносность Советского Предкарпатья. – К.: АН УССР, 1955. – 383 с.
9. Лазаренко Є.К., Сребродольський Б.І. Мінералогія Поділля. – Л.: Вид-во Львів. ун-ту, 1969. – 346 с.
10. Лазаренко Є.К., Габінет М.П., Сливко О.П. Мінералогія осадових утворень Прикарпаття. – Л.: Вид-во Львів. ун-ту, 1962. – 482 с.
11. Любченко В.Ф. Львівська скульптура XI–XVII ст. – К.: Наукова думка, 1981. – 314 с.
12. Минералы Украины: Краткий справочник / Отв. ред. Н.П. Щербак. – Киев, 1990. – 408 с.
13. Мінерали Українських Карпат. / Голов. ред. О.І. Матковський. – Л.: Видавничий центр ЛНУ, 2003. – 344 с.
14. Перит Т.М., Побережський А.В., Ясиновський М. Фації баденських гіпсів Наддністров'я. // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1995. – 112 (90191). – С. 16–27.
15. Побережский А.В. Физико-химические условия формирования баденских сульфатно-карбонатных отложений Предкарпатья (в связи с их сероносностью). / Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. – Львов. – 1991. – 20 с.
16. Побережский А.В., Перит Т.М., Перит Д. Фації ламінованих баденських гіпсів у Кудринцях над Збручем (Західна Україна). – In: P.F. Gozhyk et al. (eds.), Suchasni problemy litologii i mineragenii osadovykh baseyniv ta sumizhnykh terytoriy. – Kyiv, 2008. – P. 140–145.
17. Griswold J. Care of Alabaster. Conserve O Gram 15/1. 2000. P. 1–4.
18. Hardie L.A. Evaporites: marine or non-marine? // Amer. J. Sci.- 1984,- Vol.284, N3, P. 193–240.
19. Kasprzyk A. Sedimentary evolution of Badenian (Middle Miocene) gypsum deposits in the northern Carpathian Foredeep. // Geol. Quart. – 1999. – V. 43. – P. 449–465.
20. Kasprzyk A. Diagenetic alteration of Badenian sulphate deposits in the Carpathian Foredeep Basin, Southern Poland: processes and their succession. Geol. Quart., 2005, 49 (3): 305–316.
21. Kasprzyk A., Pueyo J. J., Halas S., Fuenlabrada J. M. Sulphur, oxygen and strontium isotope composition of Middle Miocene (Badenian) calcium sulphates from the Carpathian Foredeep, Poland: palaeoenvironmental implications. Geol. Quart., 2007, 51 (3): 285–294.
22. Kubica B. Metasomatism of Badenian sulphates of the Carpathian Foredeep and its palaeogeographic conditions. Geological Quarterly, 1994, 38 (3): 395–414.
23. Larson, John. "The Conservation of Alabaster Monuments in Churches." The Conservator 3 (1979): 28-33.
24. Penny N. The Materials of Sculpture. Yale University Press, New Haven. 1993.
25. Peryt T. M., Kasprzyk A. Earth quake-induced re-sedimentation in the Badenian (Middle Miocene) gypsum of southern Poland. Sedimentology, 1992, 39 (2): 235–249.
26. Sulfate Minerals – Crystallography, Geochemistry, and Environmental Significance. C.N.Alpers, J.L.Jambor, D.K.Nordstrom, Editors. Reviews in Mineralogy & Geochemistry. Volume 40. Series Editor: Paul H.Ribbe. Mineralogical Society of America. Geochemical Society. 2000.
27. Udubasa G., Dud'ar R., Szkal S., Kvasnytsya V. Minerals of the Carpathians. Edited by Sandor Szakall. Granit, Prague. – 2002. – 480 p.

УДК 549.08

*О.Ю. Лисенко, доктор філософії з технічних наук**О.Р. Белєвцев, кандидат геологічних наук**О.В. Грущинська, кандидат геологічних наук**І.О. Ємельянов**ДГЦУ**М.М. Таран, доктор геолого-мінералогічних наук**ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України**Г.В. Лисиченко, доктор технічних наук, член-кореспондент НАН України**І.І. Сотнікова**ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»*

# Дослідження облагороджених топазів методом оптичної спектроскопії

*Авторами були изучены образцы волинских топазов, подверженных воздействию радиационного облучения в комбинации с термообработкой. Изучение камней проводилось с применением метода оптической спектроскопии. В ходе исследований установлено, что природа голубой окраски природных и облагороженных топазов различна, а спектры оптического поглощения могут быть использованы для эффективной диагностики природных и облагороженных топазов в ювелирных изделиях.*

*The authors examined samples of Volyn topazes treated by radiation and subsequent heat treatment. The research was conducted with the using of optical spectroscopy method. The research defined the different origin of the blue colour of natural and treated topazes. Optical absorption spectra could be used for precise (correct) diagnostics of natural and treated topazes in jewelry.*

**Вступ.** Серед топазів найбільш розповсюдженим різновидом, який широко використовується в ювелірному виробництві, є, без сумніву, блакитний топаз. Його родовища відомі в багатьох місцях по всьому світу. У колишньому СРСР блакитні топази добували в Забайкаллі, Приморському краї і на Чукотці. Волинське родовище в Україні також багате на блакитні топази з видатними ювелірними якістьми. Ще блакитні топази зустрічаються в Нігерії, Мозамбіку, Пакистані. Але найвідомішою різнобарвними топазами, в тому числі і блакитними, є Бразилія. Саме там були знайдені унікальні всесвітньо-

відомі блакитні топази, наприклад, топаз «Принцеса Бразилії», який в ограненому стані має розміри 14,3x14,3x12,7 см, і «Марбела», маса якого 1,65 кг.

Однак родовища природного блакитного топазу в основному вже вичерпані або не розробляються з інших причин (наприклад, Волинське родовище), тому зараз в ювелірному виробництві в основному використовують блакитні топази, отримані шляхом радіаційної і термічної обробки природних. При цьому апіорі вважається, що причина блакитного забарвлення природних блакитних топазів і топазів, забарвлених у процесі радіацій-

ного опромінення з наступним термічним відпалом, є ідентичною, хоча нам не вдалося знайти скільки-небудь вартих уваги публікацій з цього приводу. Хоча це питання варте серйозного вивчення, оскільки, як правило, ціна на ювелірні вироби з природним каменем значно перевищує ціну виробів зі штучним або з природним каменем, який піддавався радіаційній, термічній чи будь-якій іншій обробці, не зважаючи на отриманий у результаті ефект, навіть якщо такий штучний чи підданий зовнішньому впливу камінь має кращі ювелірні характеристики (колір, чистоту, відсутність внутрішніх дефектів та ін.), ніж природний.

**Результати досліджень.** Поляризовані спектри поглинання в діапазоні 450–1800 нм ( $\sim 22220$ – $2500$   $\text{cm}^{-1}$ ) вимірювались на однопроменевому спектрофотометрі, сконструйованому на базі поляризаційного мікроскопа МИН-8 і оптичного монохроматора SpectraPro-275 зі змінними дифракційними ґратками. На рисунку 1 наведено поляризований спектр поглинання блакитного топазу з Волинського родовища, знятого в площині (001), у якій відповідно до відомостей [2] блакитне забарвлення проявляється в поляризації E||Np (Np||a), тоді як у поляризації E||Nm і E||Ng такий топаз є практично безбарвним (інколи злегка жовтуватим). Як видно з рисунку 1, блакитне забарвлення в E||Nm-поляризації зумовлене переважно широкою інтенсивною смугою поглинання з максимумом близько  $14970$   $\text{cm}^{-1}$ , яка разом з більш слабкою смугою  $23580$   $\text{cm}^{-1}$  і краєм короткохвильового поглинання формує вікно пропускання (вікно прозорості) складної конфігурації у фіолетово-блакитній області видимого випромінювання.

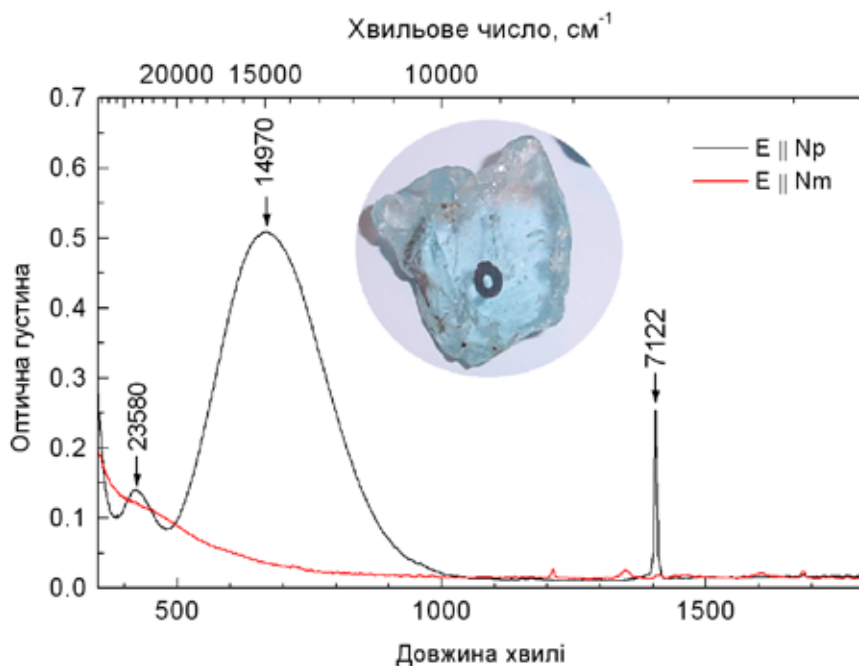
структури. Характерно, що вони суттєво відрізняються за загальною конфігурацією, кількістю компонентів і в цілому є значно слабшими за інтенсивністю, ніж лінії поглинання ОН-груп у бразильських топазах-імперіалах. Це однозначно свідчить про те, що вивчений волинський топаз має значно меншу концентрацію ОН-груп і скоріш за все належить до збагачених фтором різновидів, ніж рожеві і оранжеві бразильські хромвмісні топази-імперіали.

Стосовно природи забарвлення волинських топазів зокрема і блакитних природних топазів взагалі практично нічого не відомо. У свій час автори [3] на основі зіставлення оптичних спектрів поглинання і спектрів ЕПР двоколірних (блакитно-рожевих) волинських топазів дійшли висновку, що ці кольори зумовлені різними за симетрією комплексами іонів  $\text{Ti}^{3+}$ : домішки титану в дуже малих концентраціях були зафіксовані в таких зразках спектральним методом. Однак в подальшому така інтерпретація не дістала підтвердження [2]. У роботі [5] автори відзначають лише

зах і інтенсивністю ЕПР-сигналу, зумовленого дірковим центром  $\text{O}(\text{Al}_2)$  в них. Однак автори лише встановили, що ці дві особливості мають схожу термічну стабільність, але ніяких висновків про зв'язок блакитного забарвлення з центром  $\text{O}(\text{Al}_2)$ , а тим більше ніякої інтерпретації природи оптичної смуги поглинання близько  $620$  нм у спектрах блакитних топазів вони не наводили.

У цілому всі дослідники вважають, що блакитне забарвлення природних і опромінених топазів має одну природу. Однак проведене нами порівняльне оптико-спектроскопічне вивчення природних і опромінених зразків вказує, що це не так, і природа блакитного забарвлення в них різна.

Були вивчені неполяризовані оптичні спектри поглинання трьох огранених вставок блакитного опроміненого топазу (походження невідоме). Всі вони мали схожі між собою спектри поглинання. На рисунку 2 наведено спектр однієї із вставок. Як видно з порівняння рисунків 1 і 2, спектри природного і опроміненого топазів суттєво відрізняються. Блакитне забарвлення опроміненого зразка зумовлене присутністю в його спектрі слабого краю короткохвильового поглинання і відносно слабкої смуги поглинання з максимумом близько  $15920$   $\text{cm}^{-1}$ , енергія якої майже на  $1000$   $\text{cm}^{-1}$  вища, ніж енергія основної E||Np-поляризованої смуги поглинання  $14970$   $\text{cm}^{-1}$  в спектрі природного топазу. Зазначимо, що аналогічний спектр опроміненого блакитного бразильського топазу також наведено в роботі [5]. Різниця в енергії двох смуг поглинання в спектрах на рисунках 1 і 2 однозначно свідчить про те, що природа цих смуг, а значить і природа блакитного забарвлення природних і опромінених топазів, різна, а спектри оптичного поглинання можуть бути використані для ефективної діагностики природного і опроміненого топазу в ювелірних виробках. Зазначимо, що згідно з новими дослідженнями [4], опромінення призводить до змін в ІЧ-спектрах поглинання, зокрема, до ослаблення ліній поглинання, пов'язаних з ОН-групами у регулярних вузлах кристалічної ґратки та деяких так званих «аномальних» піків, що викликано втратою частини водню внаслідок опромінення. Разом з тим, при цьому з'являються нові смуги і зростає інтенсивність деяких існуючих ліній по-



**Рисунок 1.** Поляризований оптичний спектр поглинання природного блакитного топазу з Волинського родовища (фото на вставці), знятий у площині (001). Чорне коло на поверхні зразка показує місце вимірювання спектра

Вузькі лінії поглинання в ІЧ-області спектра (найінтенсивніша E||Np-поляризована лінія з енергією  $\sim 7122$   $\text{cm}^{-1}$ ) зумовлені коливаннями в ОН-групах

кореляцію між інтенсивністю смуги поглинання близько  $620$  нм ( $16130$   $\text{cm}^{-1}$ ) в оптичних спектрах блакитних природних і опромінених бразильських топа-

глинання. Однак за визначенням самих авторів, ці зміни стосуються смуг малої інтенсивності, до того ж деякі з них присутні не в усіх зразках. Тому для виявлення ознак радіаційної обробки топазів необхідна розробка інших, «комплексних», критеріїв.

крупного зонального кристала топазу, що мав чітко розділені зовнішню рожево-коричнювату (буру) і внутрішню безколірну зони. На рисунку 3 наведені неполяризовані оптичні спектри поглинання такого топазу, виміряні в цих двох зонах. Як видно з рисунку 3, в

разом з деяким зростанням поглинання в інфрачервоній області спектра зумовлюють дуже слабке, майже невидиме оком блакитне забарвлення). Поява бурого кольору в іншій колірній зоні пов'язана зі зростанням короткохвильового краю поглинання і появою накладеної на нього широкої смуги з максимумом десь близько  $24500\text{ см}^{-1}$ .

Прожарювання на повітрі за температури  $500\text{ }^\circ\text{C}$  протягом п'яти годин привело до повного зникнення бурого кольору і набуття зразком однорідного безколірного забарвлення. Після опромінення потоком швидких електронів ( $\beta$ -випромінювання) дозою в  $150\text{ МГр}$  зональне забарвлення знову з'явилося, зовнішня зона набула коричнюватого кольору, схожого на попередній до термообробки, а внутрішня зона отримала блідо-блакитне забарвлення. Оптичні спектри таких двох зон в опроміненому зразку наведено на рисунку 4 а і б відповідно. У забарвленні блакитної зони (рис. 4 б) основну роль відіграє короткохвильовий край поглинання і вже знайома нам за спектрами радіаційно-забарвлених обмежених вставок (рис. 2) широка E11Np-поляризована смуга з максимумом  $15920\text{ см}^{-1}$ . Її строга поляризація зумовлює чіткий плеохроїзм такого радіаційного забарвлення: блакитне у разі E11Np і безколірне – E11Nm.

У бурій зоні спектр більш складний і суттєво відрізняється від вихідного спектра, тобто від природного до прожарювання (порівняно з рис. 3). Характерно, що в ньому теж присутня E11Np-поляризована смуга з максимумом  $15920\text{ см}^{-1}$ , яка зумовлює блакитне забарвлення опромінених топазів. Буре забарвлення зумовлене, крім неї, ще і серією інших смуг поглинання з максимумами  $10400$ ,  $20330$  і  $23260\text{ см}^{-1}$  і інтенсивним короткохвильовим краєм поглинання. Причому різниця в інтенсивності спектра в E11Np- і E11Nm-поляризаціях не така вже і велика, тому буре забарвлення проявляє незначний плеохроїзм E11Np > E11Nm.

Слід зазначити, що смуги поглинання, які зумовлюють появу бурого забарвлення у відповідній зоні вивченого кристала (рис. 4 а), проявляються, але за значно менших інтенсивностей, і в спектрі блакитної зони теж (рис. 4 б). Тому остання має не чисто блакитне забарвлення, а дещо з невеликою домішкою нейтрального, сірого кольору.

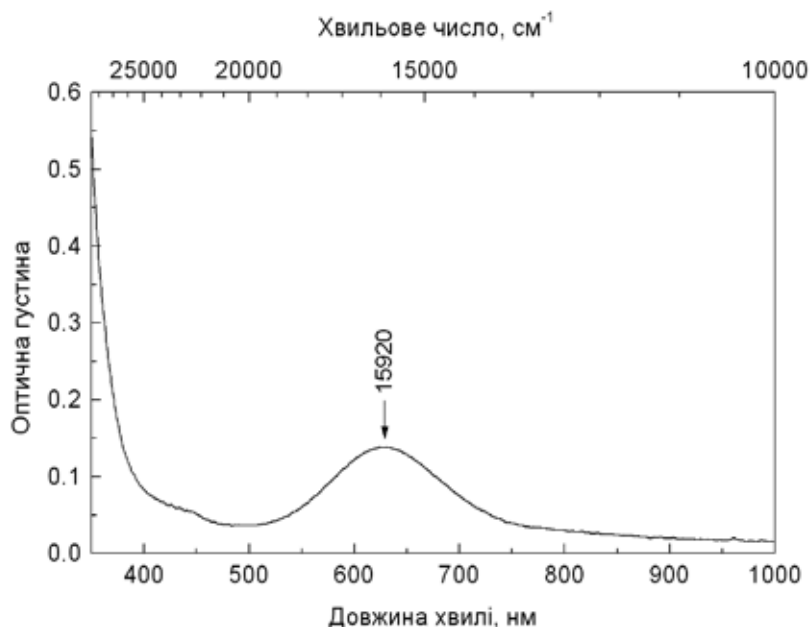


Рисунок 2. Неполяризований оптичний спектр поглинання блакитного опроміненого топазу

Для більш детального вивчення колірних перетворень у процесі радіаційної і термічної обробки були досліджені орієнтовані плоско-паралельні поліровані з обох боків зразки, вирізані з

спектрі безколірної зони присутні деякі слабкі за інтенсивністю спектральні особливості (короткохвильовий край поглинання з накладеною вузькою лінією з максимумом біля  $22400\text{ см}^{-1}$ , які

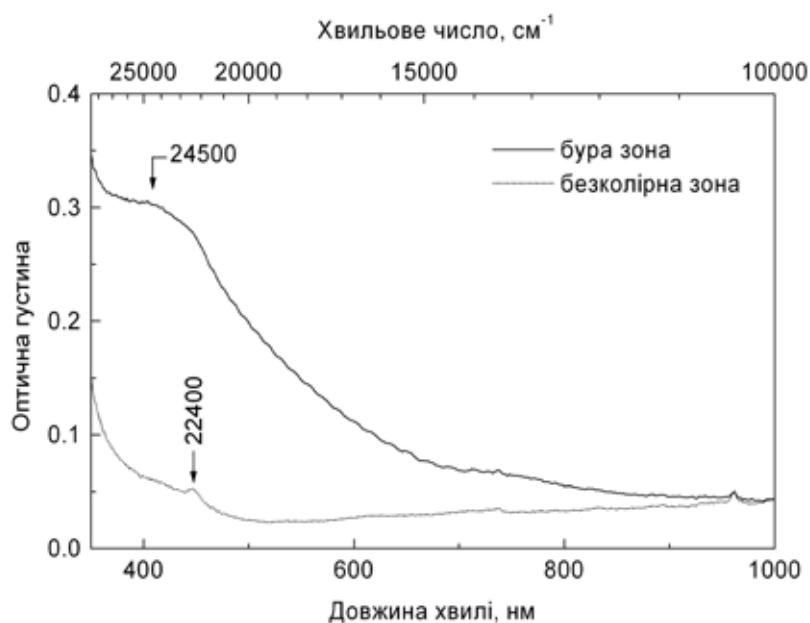


Рисунок 3. Неполяризовані оптичні спектри поглинання зонального топазу

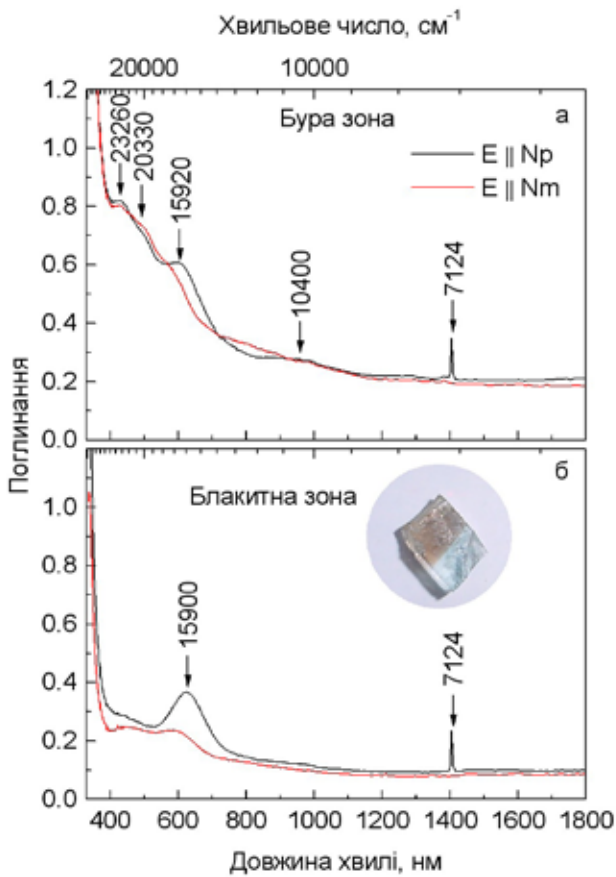


Рисунок 4. Поляризовані спектри поглинання бурої (а) і блакитної (б) зон опроміненого топазу

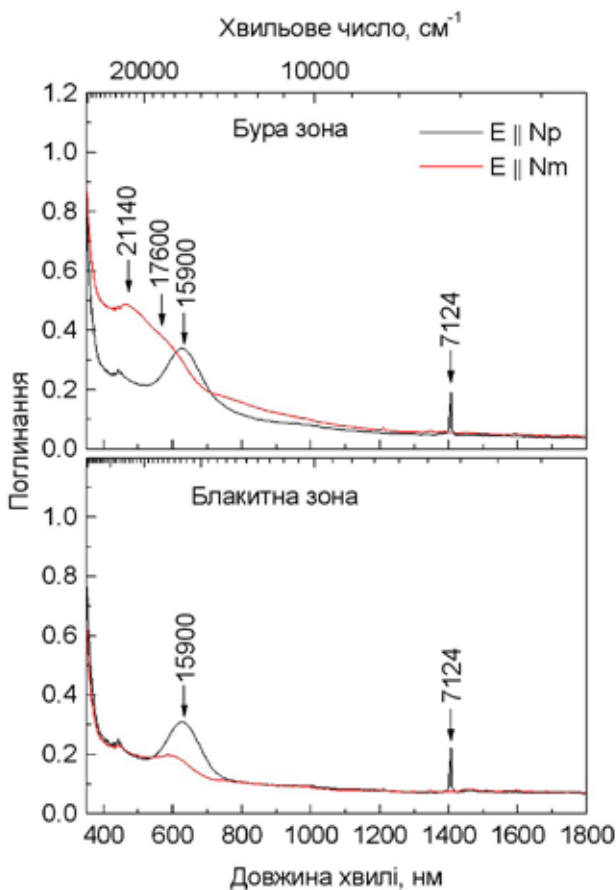


Рисунок 5. Поляризовані спектри поглинання бурої (а) і блакитної (б) зон опроміненого топазу після відпалу за температури 120 °С

Подібно, як і у волинському блакитному топазі (рис. 1), у спектрах вивченого опроміненого зразка в E||Np-поляризації присутня вузька лінія поглинання біля  $\sim 7124 \text{ cm}^{-1}$ , зумовлена коливаннями зв'язків в ОН-групах. Значимо, що за інтенсивністю вона практично однакова в обох зонах (рис. 4 а, б), це свідчить про те, що характер такого радіаційного забарвлення скоріш за все не пов'язаний з іонами гідроксиду в структурі топазу.

Під час термічного відпалу за температури 120 °С відбувається значна трансформація в спектрі бурої зони (рис. 5а). При цьому край поглинання і серія смуг з максимумами 10400, 20330 і  $23260 \text{ cm}^{-1}$  суттєво зменшуються за інтенсивністю, особливо контрастно це видно для поляризації E||Np: спектр набуває майже такого самого вигляду, як і в блакитній зоні (рис. 5 а, б). У поляризації E||Nm буре забарвлення зменшується за інтенсивністю, замість серії смуг 10400, 20330 і  $23260 \text{ cm}^{-1}$ , які практично зникають, в ній з'являються нові смуги з максимумами  $\sim 17600$  і  $\sim 21400 \text{ cm}^{-1}$ . У результаті всіх цих трансформацій в E||Np-поляризації зональність стає практично невидимою: обидві зони мають однакове блакитне забарвлення. При цьому в обох зонах, зовнішній і внутрішній, у поляризації E||Np всі ознаки смуг поглинання, пов'язаних з бурим забарвленням, практично повністю зникають, блакитний колір стає значно чистішим без будь-яких домішок нейтрального сірого кольору. В E||Nm-поляризації зональність все ще зберігається: в цій орієнтації блакитна зона кристала є безколірною, а бура зона набуває ослабленого буровато-жовтого забарвлення.

Під час подальшого відпалу зразка за температури 180 °С відбувається подальша трансформація спектрів поглинання в обох поляризаціях у бік зменшення (фактично повного зникнення) спектроскопічних особливостей, пов'язаних з бурим забарвленням. Кристал при цьому набуває однорідного блакитного забарвлення, тобто ніякої зональності вже не спостерігається, а різниця в спектрах поглинання в двох зонах повністю нівелюється для поляризації E||Np і E||Nm, як це видно на рисунку 6, де наведено поляризований спектр поглинання колишньої бурої зони, однаковий для обох зон кристала, і

типовий для ювелірних (огранованих) топазів, які піддавались радіаційному впливу. З врізаного на рисунку 6 фото добре видно, що кристал втратив будь-яку видиму зональність і набув однорідного блакитного забарвлення. Крім того, в E||Nm-поляризації тепер краще проявляється широка смуга поглинання з максимумом  $16470\text{ см}^{-1}$ , яка зумовлює появу в цій орієнтації блакитного забарвлення, хоча і дещо слабшого, ніж в поляризації E||Np.

Однак під час подальшого відпалу кристалів за температури  $250\text{ }^\circ\text{C}$ , відбувається відчутне зменшення інтенсивності E||Np-поляризованої смуги поглинання  $15900\text{ см}^{-1}$ , і практично повне зникнення E||Nm-поляризованої смуги  $\sim 16400\text{ см}^{-1}$ , в результаті чого забарвлення зразка стає менш насиченим (рис. 6). Тобто, на основі експериментально отриманих даних можна стверджувати, що найсприятливішим для отримання максимально насиченого

блакитного забарвлення, без небажаних домішок буроватого відтінку, є температура відпалу  $180\text{ }^\circ\text{C}$ .

Як видно з фото на рис. 6, буре забарвлення перетворилося на блакитне, а вихідна видима зональність кристала повністю зникла.

Як видно з фото на рис. 7, буре забарвлення перетворилося на блакитне, а вихідна видима зональність кристала повністю зникла.

#### Обговорення отриманих результатів.

На рисунку 8 наведено схему зміни забарвлення вивченого топаза в поляризованому світлі стандартного джерела освітлення МКО 1931 С, що імітує розсіяне денне світло [1]. Розрахунки були проведені на основі спектрів оптичного пропускання в діапазоні  $350\text{--}830\text{ нм}$ . Якщо виходити з візуального, чисто суб'єктивного психофізичного сприйняття забарвлення отриманих зразків, то температура відпалу  $180\text{ }^\circ\text{C}$  здається нам найсприятливішою для отримання найбільш чистого блакитного забарвлення в опромінену кристалі. Звичайно, подібні дослідження з використанням колориметричних розрахунків варто проводити на ширшій і більш систематично підбраній колекції зразків ювелірних топазів з різних родовищ світу.

На завершення варто ще раз зауважити, що, як видно з порівняння інтенсивності E||Np-поляризованої смуги поглинання  $7124\text{ см}^{-1}$ , у спектрах на рисунках 5–7 (у межах точності визначення) вміст ОН-груп у вивченому зразку залишається сталим за всіх температур відпалу, це, як вже зазначалося, свідчить про те, що швидше за все забарвлення кристала і всі його перетворення під дією термічної обробки не пов'язані з присутністю і концентрацією в структурі топазу іонів гідроксилу.

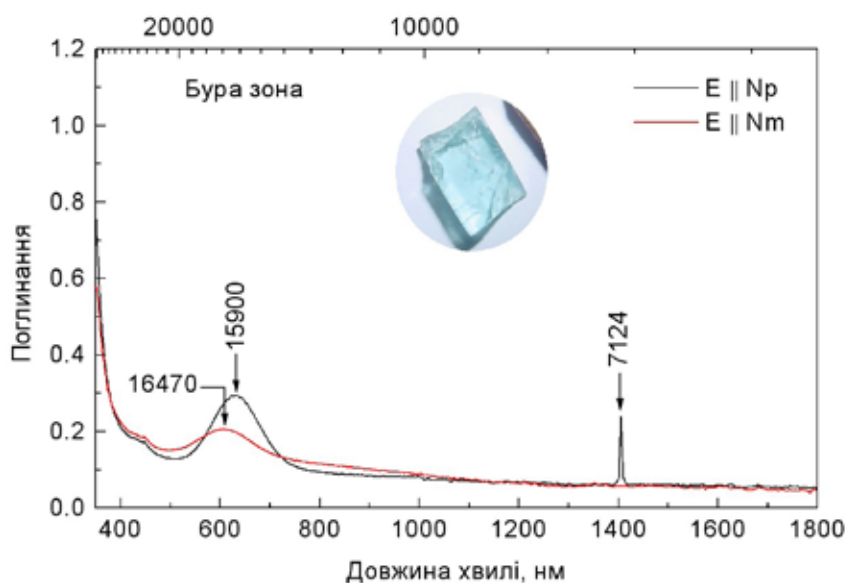


Рисунок 6. Поляризований спектр поглинання бурої зони опроміненого топаза після відпалу за температури  $180\text{ }^\circ\text{C}$

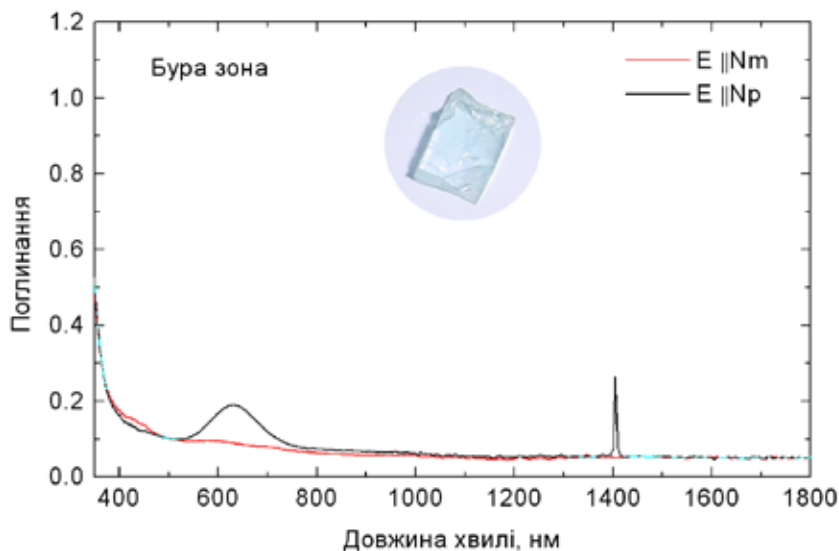


Рисунок 7. Поляризований спектр поглинання бурої зони опроміненого топаза після відпалу на повітрі за температури  $250\text{ }^\circ\text{C}$

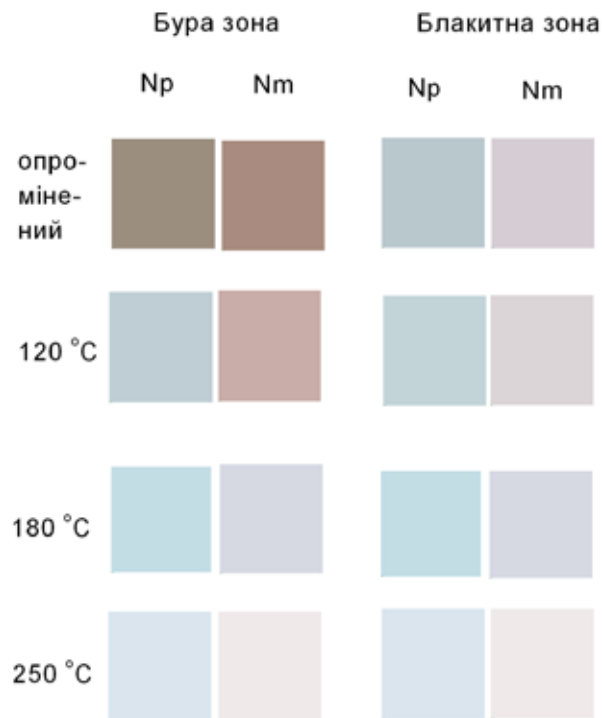


Рисунок 8. Еволюція забарвлення опроміненого зонального топаза після відпалу за температур 120, 180 і 250 °С у разі освітлення зразка на просвіт у поляризованому світлі, відображена за допомогою web-кольорів системи Нех і розрахована з оптичних спектрів пропускання для стандартного джерела освітлення МКО 1931 С, що імітує розсіяне денне світло

#### Використана література

1. Гуревич М. М. Цвет и его измерение – М.-Л.: АН СССР, 1950. – 270 с.
2. Платонов А.Н. Природа окраски самоцветов / Таран М.Н., Балицкий В.С. – М.: Недра, 1984. – 195 с.
3. Платонов А.Н., Беліченко В.П. Окраска и термолюминесценция вольтинских топазов // Минерал. сборник Львовского ун-та. – 1964. – Выпуск 4. – № 18. – 412 с.
4. Хоменко В.М., Беліченко О.П., Соломатіна Л.О. Інфрачервоні спектри ОН-груп у природному та опроміненому топазі // Мінералогічний журнал – 2011. – 33, №3. – С. 28 – 37.
5. da Silva D. N., Pinheiro M. V. B., Schweizer S., Krambrock K. The O-(Al<sub>2</sub>) centre in topaz and its relation to the blue colour // Phys. stat. sol. (c) – 2005. No.1. – P. 397–400.

УДК 549.892.2

О.П. Беліченко, кандидат геологічних наук  
ДГЦУ

# Глесит – «індонезійський бурштин»

В статті охарактеризован новий на українському ринку вид ископаємих смол – індонезійський глесит. Дано його кратке описання, приведена інформація об історії дослідження, добычі та використанні. Описані геммологічні властивості та унікальні особливості глесита.

The article deals with the Indonesian glessite, a new type of fossil resins on the Ukrainian market. The author gives a brief description and information about the history of the research, production and use, dwells on gemological characteristics and unique features of the glessite.



Рисунок 1. Зразок глеситу вагою 1200 г



Рисунок 2. Вироби з глеситу («Ambermart» 2015)

У 2013–2014 роках на чорному ринку бурштину в Україні з'явилися зразки «бурштину» темно-коричневого кольору вагою до 7–8 кг, які продавали як «унікальний» український бурштин. Спеціалісти одразу звернули увагу на незвичайний колір, форму та розмір сировини – пропонувалися уламки від 500 г і більше (рис. 1).

Практично одночасно, з 2013 року, на виставках бурштину «Amberif» і «Ambermart» в Польщі декілька торгових фірм запропонували на продаж подібну сировину та вироби з неї (кабошони, намиста, різьблені фігурки) як індонезійський бурштин – викопну смолу з острова Борнео (Калімантан) (рис. 2). Вона характеризується зазвичай темно-коричневим кольором з фіолетовим відтінком, незначна частина сировини має блідо-синю люмінесценцію (чим трохи нагадує домініканський бурштин), прозорість зразків змінюється від прозорих до непрозорих, часто зустрічаються зразки з прошарками блідо-кремового кольору.

Викопна смола з о. Борнео (Малайзія, штат Саравак) вперше описана вченими [1–3] на початку 90-х років ХХ ст. Її видобувають як супутню сировину на родовищі бурого вугілля Меріт-Піла (Merit-Pila). Підраховано, що на цьому родовищі можна видобувати до 2–5 тисяч тонн смоли у рік. На копальні Меріт-Піла, як писав Дітер Шлее [2], було знайдено найбільшу в світі брилу викопної смоли розміром 3,5×1,2 м, об'ємом 5 м<sup>2</sup> та вагою 23 кг. Частина цієї брили зберігається в Museum Am Lowentor в Штудгарті. Також описані знахідки «індонезійського бурштину» на островах Суมาตรา, Папуа Нова Гвінея, Ява, Сулавесі. Маленькі



фігурки з цієї викопної смоли, вирізані на острові Балі, почали з'являтися на щорічній мінералогічній виставці «Mineral Show» у Мюнхені в середині 90-х років XX ст.

до 2 %) та відсутністю сукцинітової кислоти [4]. За хімічним складом глесит з Борнео більш подібний до глеситу з родовища Гойтше (Німеччина), ніж до глеситу з Приморського родовища [5].

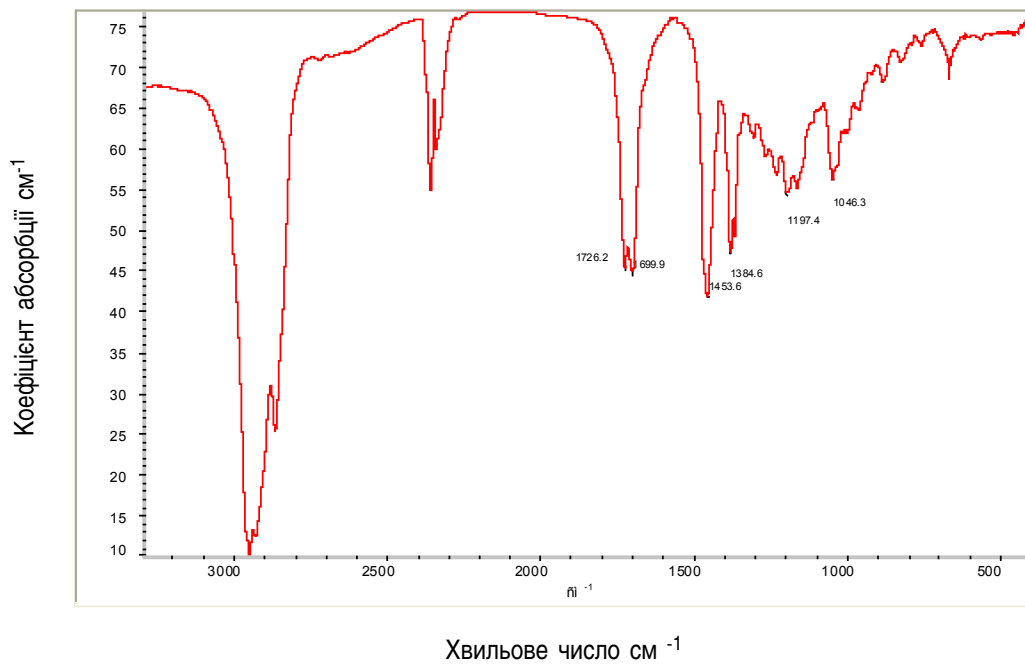


Рисунок 3. Інфрачервоний спектр глеситу

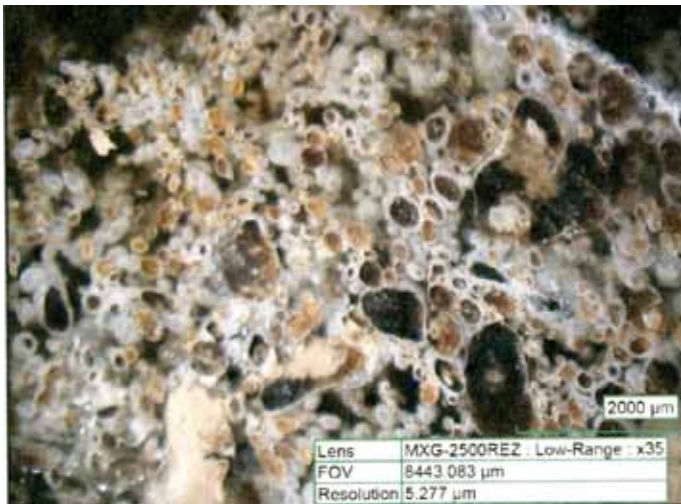


Рисунок 4. Внутрішня структура з мікрокраплями в глеситі із Суматри [5]

Наукові дослідження «індонезійського бурштину» свідчать, що він належить до викопних смол групи глеситу. Глесит – викопна смола, вперше була описана О. Хелмом на Пальмікенському родовищі (нині – Приморське родовище, Росія), проте зараз глесит дуже рідко зустрічається в Балтійському регіоні. ІЧ-спектри зразків смоли з о. Борнео подібні до типових ІЧ-спектрів глеситу (рис. 3), відрізняються лише невеликою інтенсивністю смуги коливань близько  $1700\text{ см}^{-1}$ . В елементному складі глеситу вміст вуглецю змінюється в діапазоні 83–84 %, водню 10–11 %, кисню 5–4 %, він характеризується низьким вмістом сірки (0,2–0,6 %, рідко

За результатами вивчення складу блідо-кремових прошарків у зразках глеситу визначено, що вони складені глиноподібною субстанцією, до складу якої входить каолінит, хлорит, кварц і кальцит [5].

Результати детального вивчення «індонезійського бурштину» вказують, що його джерелом були дерева *Shorea robusta* з родини Dipterocarpaceae, типові для тропічної частини Азії. На території Європи залишки дерев цієї родини не виявлено, але подібність ІЧ-спектрів глеситу з Європи, що походить з живиці дерев роду Burseraceae, і глеситу з Борнео, свідчить про генетичний зв'язок цих двох родів дерев. Вік глеситу з Борнео визначено в діапазоні 20–35 млн років [6].



Рисунок 5. Псевдоморфоза викопної смоли (глеситу) по кальциту [5]

Під час дослідження глеситу з Індонезії було виявлено окремі зразки із специфічною внутрішньою структурою, яка характеризується величезною кількістю мікрокрапель, що ніби вкриті білим пилом і призводять до втрати прозорості. Але вони не мають нічого спільного з усіма відомими вкрапленнями в сукциніті. Шлее [2] описав їх в глеситі з Сараваку і назвав «Eier-Tropfchen». Більш детальні дослідження, проведені у Музеї Землі ПАН [5], дозволили зробити точніший опис. Це краплі прозорої смоли мікроскопічного розміру від десятків до тисячних частин міліметра (рис. 4). Вони могли сформуватися за дуже високих температур (точка кипіння смоли), наприклад, в період активної вулканічної діяльності.

Іншою, надзвичайно цікавою знахідкою, є псевдоморфоза смоли (глеситу) по кальциту, яка була досліджена і вперше описана в Музеї Землі ПАН [5]. Авторами описано зразок масою 38,7 г, який представляє собою природний багатогранник, що нагадує за своїми характеристиками кристал кальциту (рис. 5). Цей «фальшивий кристал», в якому первинна субстанція  $\text{CaCO}_2$  повністю заміщена смолою, має обрис скаленоедру, характерного для кальциту, який росте в морському середовищі, на що вказує інтенсивний ріст псевдокристала вздовж осі С. Кристали кальциту, що кристалізуються у прісній волі, мають ознаки інтенсивного перпендикулярного зростання до осі С. Крім кристалографічних вимірів, про його первинний кальцитовий склад свідчать результати дослідження збережених поверхонь стінок кристала за допомогою скануючого електронного мікроскопу з приставкою EDS.



Рисунок 6. Люмінесценція глеситу в ультрафіолетовому випромінюванні

Гемологічні характеристики глеситу з Індонезії:

Колір – коричневий, блідо-коричневий, темно-коричневий з фіолетовим відтінком.

Прозорість – від прозорого до непрозорого, часто зустрічаються зразки з прошарками блідо-кремового кольору.

Під час дослідження люмінесценції зразків виявлено яскраво-синє світіння в коротко- і довгохвильовому випромінюванні (рис 6). Незначна частина сировини має блідо-синю люмінесценцію (чим трохи нагадує домініканський бурштин) і при денному світлі.

Густина – 1,00–1,03 г/см<sup>3</sup>, на відміну від сукциніту, густина якого, зазвичай, більше 1,05 г/см<sup>3</sup>.

У разі нагрівання (наприклад розпеченою голкою) легко плавиться.

Поверхня глеситу злегка розчиняється, якщо на неї на одну хвилину помістити краплю ацетону, вона стає липкою, проте відбитку пальця на поверхні не залишається на відміну від копалу.

Загальноприйняті принципи сортування глеситу відсутні, але на ринку відомі терміни, якими деякі постачальники описують якість сировини під час продажу:

AAA Blue – сировина найвищої якості, прозора, з яскравим блакитним відтінком;

AA Blue/mixed color – сировина високої якості, прозора, з блакитним або фіолетовим відтінком (рис 7);

Kristal – сировина, придатна для виготовлення кабошонів, намистин, прозора або зі значною кількістю прозорих ділянок (рис. 8);

Asalan – здебільшого непрозора сировина, часто зі значною кількістю кремових прошарків (рис. 9).

Вартість глеситу (пропозиція компанії «Starborn Creations», серпень 2015, виставка «Ambermart», Гданськ):

AAA Blue – 3 Євро/грам (1200 Євро/кг (лот));

AA Blue/mixed color – 1 Євро/г (400 Євро/кг (лот));

Kristal – 50 Євро/кг (лот));

Asalan – 25 Євро/кг (лот)).

Треба зазначити, що у разі значних замовлень (більше 1000 кг) вартість може бути значно знижена.



Рисунок 7. Blue/mixed color – сировина високої якості, прозора, з блакитним або фіолетовим відтінком



Рисунок 8. Глесит якості «Kristal»



Рисунок 9. Глесит якості «Asalan»

Автор висловлює щирі подяку за допомогу та консультації професору, доктору наук Барбарі Космовській-Церанович (Музей Землі ПАН).

#### Використана література

1. Hillmer G., Weitschat W., Varva N. Bernstein in Borneo // Naturwiss. Rundschau 45. - 1992. - P. 72-74.
  2. Schlee D., Phen Hock Chan, Donari J., Fuok Kung Voong. Riesenbersteine in Sarawak, Nord-Borneo // Lapis, Mineralien Magazin. - 17 (9). - 1992. - P. 13-23.
  3. Kosmowska-Ceranowicz B. Bursztyn z Borneo – największe na świecie złożo żywicy kopalnej // Przegląd geologiczny. - 1994. - P. 7, 576-578, 604.
  4. Kosmowska-Ceranowicz B. Bursztyn w Polsce i na świecie / Warszawa. - 2012. - 299 p.
- Kosmowska-Ceranowicz B., Lydzba-Kopczynska B., Sachanbinski M. The fossil resins of Indonesif – their internal structures and forms // Amberif 2014. The 21 seminar «Amber. Gemology – museology-archaeology» - 2014. - P. 9-14.
5. Matuszewska A. Bursztyn (sukcynit), inne żywice kopalne, subfossilne I współczesne / Katowice. - 2010. - 234 p.

УДК 549.08 : 549.731.11

О.П. Беліченко, кандидат геологічних наук

Ю.Д. Гаєвський

ДГЦУ

К.І. Деревська, доктор геологічних наук

ННПМ НАНУ

Ю.І. Ладжун, кандидат геологічних наук

Л.Д. Фуголь

ДГЦУ

# Комплексні гемологічні дослідження шпінелі

*Авторами було проведено дослідження геммологічних, фізических і хімічних діагностических характеристик природної, синтетическої і облагороженої шпінелі. Образцы были исследованы методами ИК-Фурье спектроскопии, рентгенофлуоресцентного анализа, приведено их детальное геммологическое описание.*

*The authors made a research of the gemological, physical and chemical diagnostic characteristics of the natural, synthetic and treated spinel. The samples were studied by IR-Fourier spectroscopy methods, X-Ray fluorescence analysis, and their detailed gemological description was given.*

**Вступ.** Шпінель – мінерал, окис магнію, заліза й алюмінію координаційної будови –  $(\text{Mg,Fe})\text{Al}_2\text{O}_4$ , що є мінеральним видом змінного складу від крайнього магнієвого члена (власне шпінелі) до крайнього залізного члена (герциніту).

До дорогоцінного каміння належать прозорі, яскраво забарвлені відміни шпінелі, що класифікуються згідно з ТУ У 36.2-21587162.003:2009 «Каміні дорогоцінні (другого-четвертого порядку)» як дорогоцінне каміння другого (шпінель благородна) і третього (шпінель) порядку.

Благородна шпінель разом зі смарагдами, рубінами, сапфірами синіми та кольоровими, олександритами і цаворитом входить до переліку «кольоро-

вого коштовного каміння високої вартості – high-value colored gemstones (HVCG)» [1].

Відповідно до календарного плану виконання НДР «Створення комплексної бази даних фізико-хімічних характеристик дорогоцінного каміння українського ювелірного ринку» в 2015 р. були проведені комплексні гемологічні дослідження природної і синтетичної шпінелі.

**Мета роботи** – визначення гемологічних характеристик зразків природної, синтетичної та облагороженої шпінелі, дослідження інфрачервоних спектрів і спектрів рентгенівської флуоресценції цих зразків, їх порівняння і виявлення характерних діагностичних особливостей.

**Методи досліджень** – рентгенофлуоресцентний аналіз, інфрачервона спектроскопія.

Дослідження методом ІЧ-Фур'є спектроскопії проводилося відповідно до «Методики діагностики дорогоцінного каміння методом ІЧ-Фур'є спектроскопії» [2]. Дослідження методом РФА виконувалося відповідно до «Методики діагностики дорогоцінного каміння та його замінників методом рентгенофлуоресцентного аналізу» [3]. Цим дослідженням передувало визначення гемологічних характеристик досліджуваних зразків.

Об'єкти дослідження: зразки природної шпінелі загальною кількістю 72 шт., країни походження каменів – Шрі-Ланка (7 шт.), М'янма (8 шт.), В'єтнам (4 шт.), Таджикистан (4 шт.), Танзанія (5 шт.),

Пакистан (2 шт.), Мадагаскар (3 шт.), для 39 зразків країна походження не визначена. Також були досліджені шпінелі синтетичні (37 шт.), синтезовані методами Вернейля і флюсовим.

Маса зразків природної шпінелі від 0,15 до 620,0 ст, синтетичної шпінелі – від 0,28 до 4,99 ст.

**Характеристика досліджуваних зразків.** Для зразків природної та синтетичної шпінелі були визначені такі гемологічні характеристики: показник заломлення, густина, люмінесценція при освітленні УФ-лампю, зразки вивчались за допомогою гемологічного мікроскопа та фільтра Челсі (табл. 1.1, 1.2).

Під час вивчення гемологічних властивостей колекції природної і синтетичної шпінелі було виявлено, що окремі зразки характеризуються особливими фізичними або оптичними властивостями:

1. У шпінелі природної чорного кольору виявлено здатність до намагнічування, що пов'язано з великою кількістю Fe у камені (рис. 1). Визначено, що зразок є високозалістим різновидом шпінелі – плеонастом [4].



Рисунок 1. Плеонаст – високозалістий різновид шпінелі

2. Під час дослідження флуоресценції зразків природної та синтетичної червоної шпінелі виявлено світіння як в довгохвильовому, так і в короткохвильовому випромінюванні. Під час вивчення цих зразків за допомогою призматичного спектроскопа було виявлено тонкі R-лінії в діапазоні 680-700 нм. Характеристичні R-лінії в цьому діапазоні дозволяють стверджувати про наявність Cr як елемента-барвника у червоній шпінелі. Дослідження спектрів рентгенівського випромінювання зразків також свідчить про високий вміст Cr за досить невеликої кількості інших елементів [5].

3. У деяких фіолетових різновидах природної шпінелі виявлено ефект зміни кольору – при штучному освітленні у цих каменях виявлено рожевий відтінок.

4. Під час дослідження темно-фіолетової шпінелі з ефектом астеризму (4-променева зірка на поверхні) було виявлено ознаки облагородження, а саме дифузійної обробки: в імерсійному мікроскопі помітно, що поверхня каменю має сіре забарвлення; спектр рентгенівського випромінювання зразка характеризується досить високим вмістом Ti [6].



скопі чітко видно пластину матеріалу (скло?), яка надає фіолетовий колір каменю (рис. 2).

Під час дослідження флуоресценції вставки було виявлено, що складові частини триплету відрізняються за інтенсивністю світіння, а саме, крайові частини характеризуються інтенсивним світінням, характерним для шпінелей, синтезованих методом Вернейля, а в центральній частині (скло?) світіння відсутнє.



Рисунок 2. Складові частини триплету (А) під час дослідження в імерсійному мікроскопі (зб. 37) (В)

5. У синій і блакитній шпінелі, синтезованій методом Вернейля, під час дослідження за допомогою фільтра Челсі виявлено світіння червоного кольору. Це пов'язано з присутністю у каменях досить великої кількості Co [7].

6. Внаслідок дослідження окремих зразків природної шпінелі в імерсійному мікроскопі знайдено сліди термообробки у вигляді дископодібних тріщин [6].

7. Під час вивчення в імерсійному мікроскопі синтетичної шпінелі, вирощеної за допомогою методу Вернейля, виявлено газові пухирці різної форми, а в синтетичній шпінелі, вирощеної за допомогою флюсового методу, – залишки флюсу [5].

8. Внаслідок детального дослідження вставки фіолетового кольору (зразок 13) встановлено, що вона складена трьома шарами: синтетична шпінель (метод Вернейля) – невідома речовина (можливо скло) – синтетична шпінель (метод Вернейля). В імерсійного мікро-

**Дослідження шпінелі методом ІЧ-Фур'є спектроскопії.** Вимірювання проводилися за допомогою спектрометра моделі «Nicolet 6700» виробництва «ThermoFisher Scientific» на приставці «Collector II» та приставці конденсатора пучка променів «Condenser» за кімнатної температури, в спектральному діапазоні 7000–400  $\text{cm}^{-1}$ . Кількість сканувань у циклі вимірювання – 192–3584, за роздільної здатності 4  $\text{cm}^{-1}$ .

У результаті аналізу отриманих ІЧ-спектрів шпінелі виявлено такі закономірності:

1. В ІЧ-спектрах досліджених природних зразків спостерігається серія піків поглинання різної ширини в діапазоні близько 3300–3600  $\text{cm}^{-1}$ , які, за літературними відомостями, пов'язані з коливаннями OH (рис. 3) [8].

У більшості зразків синтетичної шпінелі в цьому діапазоні було виявлено два піки поглинання з максимумами близько 3514 та 3348  $\text{cm}^{-1}$ , що

Таблиця 1.1. Загальна характеристика досліджених зразків природних шпінелей

№ з-ка	Колір	Країна походження	Форма	Геометричні розміри, мм	Маса, ст/г	Показник заломлення	Густина г/см <sup>3</sup>	Флуоресценція	
								LW	SW
1	рожевий	н/в* (Ук-10)	гексагон	4,55x5,15 h 2,40	0,43 ст	N – 1,714	3,59	червона	рожева
2	рожевий	Таджикистан	круг	∅ 11,08-11,10 h 6,12	4,98 ст	N – 1,717	3,57	червона	біло-рожева
3	червоний	Бірма	кристал, октаедрична	—	0,95 ст	N – 1,718	3,58	червона	рожева
4	червоний	Танзанія	кристал	10,80x7,08 h 7,88	1,01 г	N – 1,718	3,58	рожева	червона
5	чорний	н/в	квадрат	3,0*3,03 h 2,43	0,20 ст	N – 1,799	3,76	інертна	інертна
6	темно-оранжевий	В'єтнам	кристал	38,22x23,23 h 20,56	35,20 г	N – 1,718	—	інертна	інертна
7	темно-фіолетовий	Танзанія	кристал	8,86x7,38 h 5,61	0,80 г	N – 1,717	3,59	інертна	інертна
8	зелено-блакитний	Шрі-Ланка	круг	∅ 4,58-4,59 h 2,72	0,40 ст	N – 1,718	3,61	інертна	інертна
9	зеленувато-синій	Пакистан	друза кристалів	24,53x21,59 h 20,21	5,51 г	N – 1,719	—	інертна	інертна
10	синій	н/в (Ук-179)	овал	4,99x4,27 h 2,45	0,45 ст	N – 1,723	3,57	інертна	інертна
11	блакитно-пурпурний/ біло-фіолетовий	н/в (Ек-66)	круг	∅ 3,80 - 3,90 h 2,24	0,25 ст	N – 1,721	3,68	інертна	інертна
12	темно-фіолетовий, астеризм	н/в	овал	6,65x5,48 h 3,45	1,19 ст	N – 1,71	3,63	інертна	інертна
13	блакитно-пурпурний / фіолетовий/Г	н/в (Ек-65)	круг	∅ 3,11-3,17 h 2,10	0,15 ст	N – 1,717	3,65	інертна	інертна

Таблиця 1.2. Загальна характеристика досліджених зразків синтетичної шпінелі

№ з-ка	Колір	Метод синтезу	Форма	Геометричні розміри, мм	Маса, ст	Показник заломлення	Густина, г/см <sup>3</sup>	Флуоресценція	
								LW	SW
14	безбарвний	Вернейля	круг	∅ 5,03-5,02 h 3,20	0,58	N – 1,728	3,68	інертна	слабка біла
15	безбарвний	Вернейля	круг	∅ 4,96-5,02 h 2,92	0,44	N – 1,727	3,67	біло-зелена	біло-зелена
16	червоний	Флюсовий (Ук-121)	багет	4,85x2,93 h 1,81	0,26	N – 1,719	3,62	червона	червона
17	синій	Вернейля (Тз-53)	круг	∅ 3,47-3,48 h 2,28	0,19	N – 1,729	3,66	червона	біло-зелена
18	синій	Вернейля	круг	∅ 5,0-5,03 h 3,08	0,50	N – 1,729	3,65	червона	блакитна
19	блакитний	Вернейля (Тз-32)	овал	14,8x7,9 h 5,3	4,99	N – 1,728	3,61	червона	зелена
20	блакитний	Вернейля	круг	∅ 3,0-3,03 h 2,55	0,29	N – 1,729	3,67	рожева	блакитна
21	біло-жовто-зелений	Вернейля	овал	15,14x7,37 h 3,86	3,90	N – 1,731	3,63	зелена	зелена
22	темно-зелений	Вернейля	овал	11,24x8,51 h 5,82	4,36	N – 1,730	3,62	рожева	блакитна
23	темно-фіолетовий	триплет (Ук-134) Вернейля/скло/Вернейля	октагон	6,99x5,04 h 3,08	1,13	N – 1,729	3,73	інертна	біло-зелена – інертна – біло-зелена

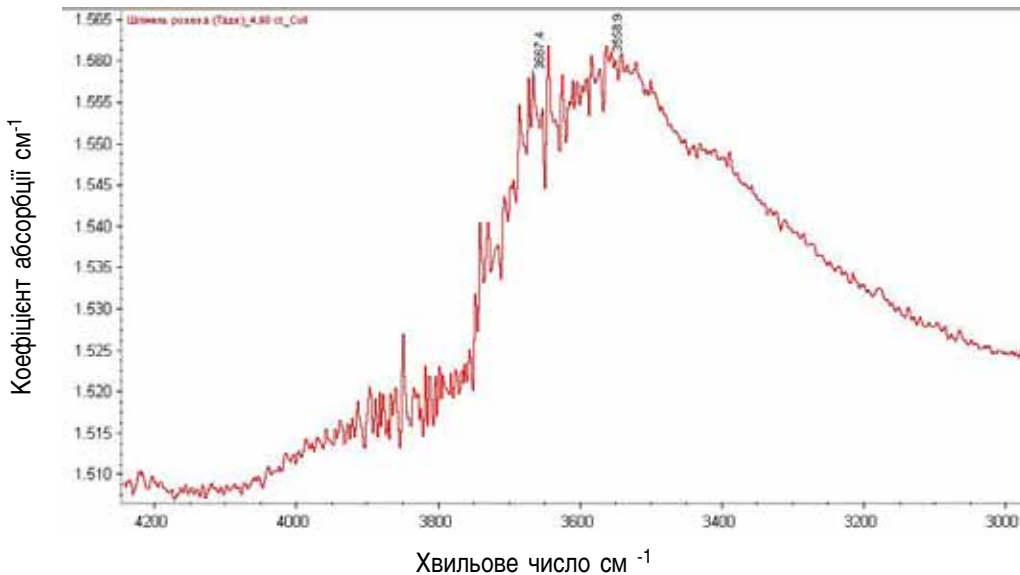


Рисунок 3. Серія піків поглинання в діапазоні близько 3300–3600  $\text{см}^{-1}$  рожевої шпінелі (Таджикистан)

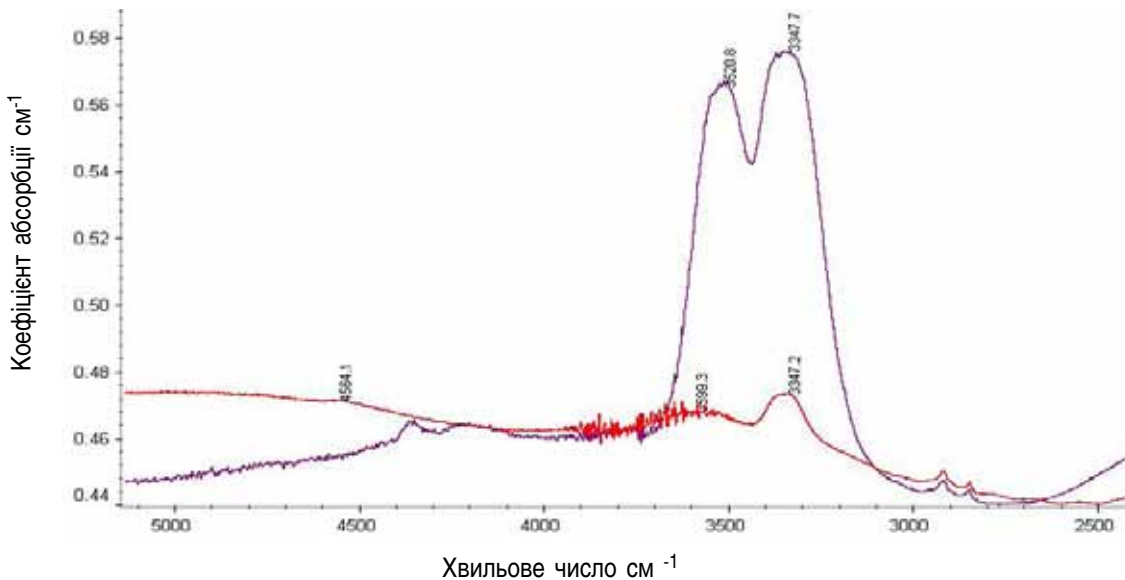


Рисунок 4. Піки поглинання з максимумами близько 3514 та 3348  $\text{см}^{-1}$  у шпінелі, синтезованій флюсовим методом і методом Вернейля

також пов'язують з коливаннями залишків групи ОН [8]. Слід зазначити, що амплітуда цих піків значно вища в каменях, синтезованих методом Вернейля, порівняно зі шпінеллю, синтезованою методом флюсу (рис. 4). Встановлена закономірність може бути використана як діагностична ознака під час визначення методів синтезу.

2. Більшість ІЧ-спектрів природних шпінелей характеризуються інтенсивною смугою поглинання з максимумом близько 5000  $\text{см}^{-1}$ , яку зазвичай пов'язують зі змінами на електронному рівні в тетраедричних  $\text{Fe}^{2+}$  [9].

3. У спектрах більшості природних зразків виявлено пік близько 625  $\text{см}^{-1}$

(рис. 5), який інтерпретується як складне коливання типу  $\text{Me}^{2+}\text{-O-3Me}^{3+}$ . Його позиція у спектрі дещо коливається залежно від взаємної кількості елементів у камені [10].

4. В ІЧ-спектрах зразків чорної шпінелі виявлено пік близько 610  $\text{см}^{-1}$ , який також пов'язують із складним коливанням типу  $\text{Me}^{2+}\text{-O-3Me}^{3+}$ . Він відрізняється від аналогічних коливань у спектрах шпінелі інших кольорів, що корелюється з великим вмістом Fe, V, Ni (рис. 6) [10].

5. У спектрах шпінелі синтетичної виявлено пік близько 619  $\text{см}^{-1}$  (рис. 7). Цей пік також інтерпретується дослідниками як складне коливання типу

$\text{Me}^{2+}\text{-O-3Me}^{3+}$ . Його позиція у спектрі дещо змінюється в залежності від взаємної кількості елементів, як і в природних зразках [10].

6. Під час вивчення синьої і блакитної шпінелі, синтезованої за допомогою методу Вернейля, було виявлено зону поглинання в діапазоні 5800–7000  $\text{см}^{-1}$ . Інтерпретувати цю зону поглинання, на жаль, не вдалося, але вона відсутня у відповідному діапазоні природних аналогів і тому може бути допоміжною ознакою під час діагностики.

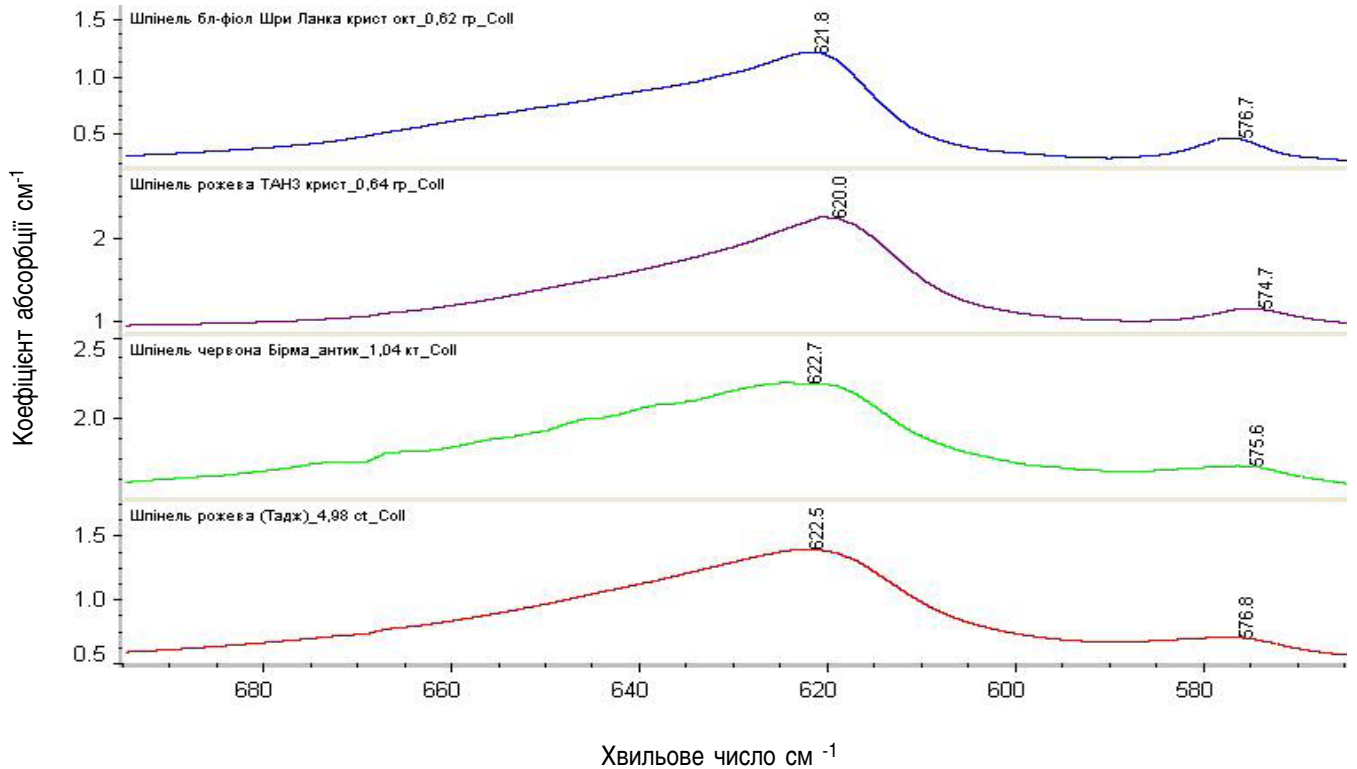


Рисунок 5. Пік близько 625 см<sup>-1</sup> у шпінелі блідо-фіолетовій (Шрі-Ланка), рожевій (Танзанія), червоній (Бірма), рожевій (Таджикистан)



Рисунок 6. Пік близько 610 см<sup>-1</sup> у чорній шпінелі

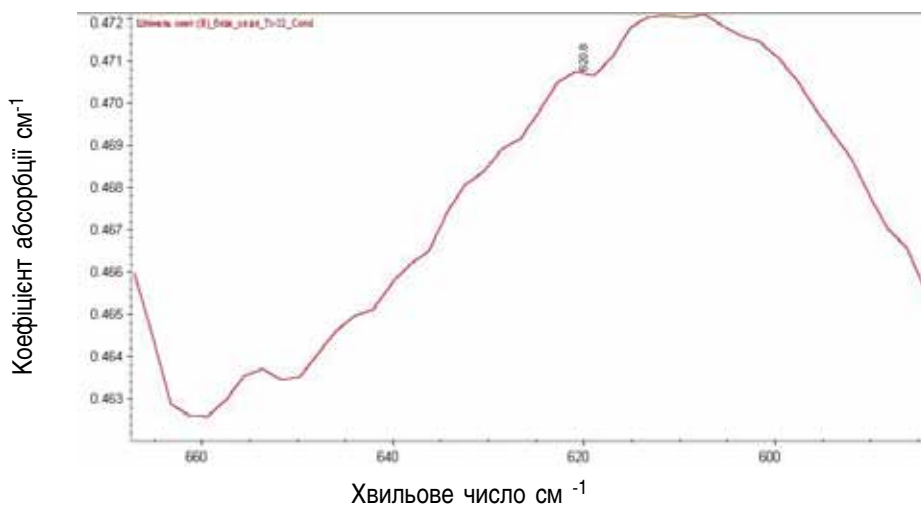


Рисунок 7. Пік близько 619 см<sup>-1</sup> у шпінелі, синтезованій методом Вернейля



Таблиця 2.1. Інтенсивність ліній рентгенівської флуоресценції природної шпінелі

№ з-ка	Колір	Країна походження	Маса	Інтенсивність ліній рентгенівської флуоресценції, ум. од.													
				Na	Mg	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Ga	Ni		
1	рожевий	н/в (Ук-10)	0,43 ст	—	5,0	25,3	—	0,7	1,1	0,6	4,1	1,25	7,5	4,0	—		
2	рожевий	Таджикистан	4,98 ст	0,3	7,2	35,7	—	0,4	0,8	0,5	6,5	0,5	9,2	3,4	—		
3	червоний	М'янма	0,95 ст	0,5	3,4	19,6	0,2	1,4	2,5	0,45	3,2	—	32,3	1,8	—		
4	червоний	М'янма	0,95 ст	0,5	3,4	19,6	0,2	1,4	2,5	0,45	3,2	—	32,3	1,8	—		
5	чорний	Танзанія	1,01 г	—	5,5	30,5	0,3	1,1	2,8	0,7	13,0	—	30,8	2,3	0,3		
6	темно-оранжевий	В'єтнам	35,20 г	—	5,0	28,0	0,5	2,2	1,8	0,9	42,3	0,7	2,9	2,0	0,7		
7	темно-фіолетовий	Танзанія	0,80 ст	—	5,0	28,5	0,3	0,5	0,6	1,20	33,3	—	24,8	1,5	0,5		
8	зелено-блакитний	Шрі-Ланка	0,40 ст	—	6,4	34,8	—	—	—	1,1	30,2	0,9	11,1	3,5	—		
9	зеленувато-синій	Пакистан	5,51 г	—	5,3	30,0	0,3	—	—	1,4	46,4	—	39,3	1,8	—		
10	синій	н/в (Ук-179)	0,45 ст	—	3,5	21,0	0,4	—	—	2,8	78,0	5,5	94,5	2,9	1,2		
11	блакитно-пурпурний/фіолетовий	н/в (Ек-66)	0,25 ст	1,0	3,5	18,0	—	—	—	1,0	68,3	0,6	31,5	2,1	—		
12	темно-фіолетовий, астеризм	н/в	1,19 ст	—	4,4	23,3	0,5	0,7	—	1,0	36,4	1,3	59,3	2,3	—		

Таблиця 2.2. Інтенсивність ліній рентгенівської флуоресценції синтетичної шпінелі

№ з-ка	Колір	Метод синтезу	Маса, ст	Інтенсивність ліній рентгенівської флуоресценції, ум. од.														
				Si	Ca	Mg	Al	Ti	V	Cr	Fe	Co	Mn	Cu	Zn	Ni	Sr	Pb
14	безбарвний	Вернейля	0,58	—	1,6	37,3	—	—	0,3	—	0,5	—	—	0,1	—	—	—	—
15	безбарвний	Вернейля	0,44	—	2,3	41,5	0,5	—	0,15	—	1,1	—	—	—	—	—	—	—
16	червоний	Флюсовий	0,26	—	1,5	9,3	0,5	0,20	7,65	0,5	—	—	—	1,3	0,3	1,15	—	0,25
17	синій	Вернейля	0,19	—	0,9	22,9	0,4	0,8	1,0	0,1	5,9	—	—	0,2	0,2	—	—	—
18	синій	Вернейля	0,50	—	2,5	47,5	—	0,15	0,92	0,34	2,65	—	—	0,5	—	—	—	—
19	блакитний	Вернейля	4,99	—	2,0	36,5	0,05	0,15	0,34	0,25	0,3	—	—	0,9	0,2	—	—	—
20	блакитний	Вернейля	0,29	—	2,7	54,5	0,05	—	0,16	0,28	—	—	—	0,10	0,27	—	—	—
21	блідо-жовто-зелений	Вернейля	3,90	—	0,4	15,4	—	—	2,4	—	21,6	2,5	—	—	—	—	—	—
22	темно-зелений	Вернейля	4,36	—	0,1	7,15	0,7	—	1,0	0,1	—	—	—	0,5	—	—	—	—
23	темно-фіолетовий	триплет	1,13	1,5	0,2	16,0	—	—	0,5	0,4	0,8	0,9	0,2	—	—	2,8	91,0	4,0

**Дослідження шпінелі методом рентгенофлуоресцентного аналізу.** Вимірювання проводилися у лабораторних умовах за допомогою спектрометра енергій рентгенівського випромінювання «СЕР-01» моделі «ElvaX-Light» з інтервалом досліджень від Na до U. Дослідження виконувались методом якісного аналізу.

За результатами досліджень встановлено закономірності (табл. 2.1, 2.2):

У досліджених зразках природної шпінелі виявлено домішки Ga, який розглядається як діагностичний критерій природного походження мінералу [11].

Зразки природної і синтетичної шпінелі червоного кольору характеризуються підвищеним вмістом Cr за відносно невеликої кількості домішок Fe. Підвищений вміст  $Cr^{3+}$  призводить до зміни забарвлення від блідо-рожевого до червоного, оскільки червоний колір шпінелі зумовлений вмістом цієї домішки [4, 5].

У природної шпінелі чорного кольору виявлено велику кількість домішок Fe та Ti, які спричиняють колір цих каменів [4].

Зразки природної шпінелі фіолетового, синього, синьо-зеленого кольору характеризуються наявністю домішок Mn, Fe, Cu, Zn у різних співвідношеннях [4].

Зразок темно-оранжевої шпінелі (країна походження В'єтнам) характеризується специфічним набором елементів-домішок – Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu [4].

У зеленувато-жовтій шпінелі (метод Вернейля) виявлено досить велику кількість Mn, який, за літературними відомостями, є причиною появи цього кольору в камені [7].

У шпінелі блакитного і синього кольорів, вирощених методом Вернейля, присутні домішки Co, Ti, Cr, Fe, які спричиняють появу вищевказаних кольорів у каменях.

У зразку червоної шпінелі, вирощеної за допомогою флюсового методу, присутні одночасно елементи Pb та Ga, які є складовою частиною флюсу. Необхідно зазначити, що флюс, який містить ці домішки, розподілений у зразку нерівномірно. Комплекс Pb+Ga може бути використаним під час діагностики цього методу синтезу.

Під час дослідження триплету синтетична шпінель (метод Вернейля) – невідома речовина (скло?) – синтетична шпінель (метод Вернейля) виявлена постійна присутність елементів Si, Ca, Pb, Ga. Можна припустити, що присутність вказаних елементів у триплеті пов'язана з наявністю у ньому пластини зі скла.

Таким чином, вперше в ДГЦУ досліджено високоталісизистий різновид шпінелі – плеонаст з високою магнітністю, виявлено зв'язок червоної люмінесценції з наявністю хрому у червоній шпінелі, досліджено зразки з ефектом зміни кольору, досліджено облагородження (астеризм) та виявлено під мікроскопом дископодібні сліди розпаду природних включень. Під час дослідження синтетичної шпінелі описано характерні для певних видів синтезу внутрішні включення, визначено складові частини триплету із синтетичної шпінелі. Також вивчено природу кольору деяких різновидів синтетичної і природної шпінелі.

#### Використана література

- Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A., Groat L., Feneyrol J. Geographic origin of gems linked to their Geological History // InColor. – 2012. – No. 19. – P. 16–27.
- Методика діагностики дорогоцінного каміння методом ІЧ-Фур'є спектроскопії, затверджена наказом ДГЦУ від 21.12.2012 № 149/12-1.
- Методика діагностики дорогоцінного каміння та його заміників методом рентгенофлуоресцентного аналізу, затверджена наказом ДГЦУ від 25.01.2013 № 6/13-1.
- www.archive.lib.cmu.ac.th
- Muhlmeister S., Koivula J.I., Kammerling R.C., Smith C.P., Fritsch E., Shigley J.E. Flux-grown synthetic red and blue spinels from Russia // Gems & Gemology, - Vol. 29. - No. 2. - P. 81–100.
- Smith C. P. Spinel and its treatments: A current status report // InColor – No. 19. – Spring 2012. – P. 50–54.
- Балицкий В.С., Лисицына Е.Е. Синтетические аналоги и имитации природных драгоценных камней // М. – Недра, 1981. – 158 с.
- Geoffrey D. Bromiley, Fabrizio Nestola, Simon A.T. Redfern, Ming Zhang Water incorporation in synthetic and natural  $MgAl_2O_4$  spinel // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 74. – 2010. – P. 705–718.
- Taran M.N., Parisi F., Lenaz D., Vishnevskyy A.A. Synthetic and natural chromium-bearing spinels: an optical spectroscopy study // Physics and Chemistry of Minerals. – September 2014. – Volume 41. – Issue 8. – P. 593–602.
- Куражковская В.С., Дорохова Г.И., Розенберг К.А., Кабалов Ю.К. Рентгенографические и ИК-спектроскопические характеристики алюмо- и хромсодержащих шпинелей // Вестник ОГГГН РАН – № 5. – т.1 (15). – 2000.
- S. Saeseaw, W. Wang, K. Scarratt Distinguishing Heated Spinel from Unheated Natural Spinel and from Synthetic Spinel A short review of on-going research // GIA Laboratories. – May 2009.

УДК 550.8:553.81(673.17)

М.В. Рузіна, доктор геологічних наук

О.А. Терешкова, кандидат геологічних наук

Н.Г. Вавриш

О.П. Матюшкіна

Національний гірничий університет

# ТИПОМОРФІЗМ АЛМАЗІВ КІМБЕРЛІТІВ ТРУБКИ ЛОРЕЛЕЙ

Приведены результаты изучения петрографического состава кимберлитов и типоморфизма алмазов кимберлитовой трубки Лорелей (Ангола). Установлено, что кристаллы алмазов представлены в основном ромбододекаэдрами.

Data are given about results of petrographical composition and typomorphism of diamonds from kimberlite tube Loreley. It is substantiated that crystals of diamonds are presented by rhombododecaedres.

У ході проведення досліджень в рамках проекту «Ганго» в північно-західній частині Ангольського щита було виявлено кимберлітову трубку Лорелей (Слейд К., Вунда Т.М., Сантош А., Найсіменто Є., 2006 р.). Однак детальне вивчення речовинного складу кимберлітового тіла і оцінка перспектив алмазоносності на той час не були проведені. У цій статті наведено результати досліджень авторів щодо визначення мінералого-петрографічного складу і вивчення типоморфізму алмазів трубки Лорелей. У структурному відношенні район досліджень розташований у північно-західній частині Ангольського щита (район Мусенде). Кимберлітова трубка Лорелей знаходиться у верхів'ях р. Мусе і приурочена до осьової лінії розлому субширотного простягання. На рівні ерозійного зрізу трубка в плані має еліпсоїдну форму. У вертикальному розрізі морфологія трубки близька до діатреми з каналом циліндричного типу.

Кимберлітове тіло складене різноманітними петрографічними типами порід – кимберлітовими брекчіями, масивними кимберлітами порфірової структури, а також ксенолітами горнблендитів, габро і біотит-гранат-плагіоклазовими кристалосланцями.

Основна маса кимберлітів складена дрібними вкраплениками серпентинізованого олівіну, ромбічного піроксену, хромдіопсиду, перовськіту і гранату, зцементованих масою карбонат-серпентинового складу.

Порфіровий кимберліт представлений породою блакитно-зеленуватого кольору. Текстура кимберліта вкрапленників іноді брекчієвидна, структура в основному порфіровидна, в окремих різновидів – кластично-порфіровидна і келіфітова. Розмір вкрапленників варіює від 2–3 мм до 1–2 см. Спостерігаються вкрапленники ідіоморфної, овальної, сплющено-овальної форми, також зустрічаються гострокутні уламки, що вказують кластичну структуру кимберлі-

ту. Вкрапленники з ідіоморфними обривками належать серпентинізованому олівіну і піроксену, також спостерігаються лусочки біотиту і флогопіту. Гострокутні уламки, які формують брекчієвидний вигляд породи, представлені фрагментами порід основного і ультраосновного складу.

Під час мікроскопічного вивчення встановлено, що порфіровий кимберліт містить до 30 % олівіну, заміщеного серпентином двох генерацій. Форма псевдоморфоз округло-овальна. Вкрапленники зонально пофарбовані – по периферії розвивається темно-зелений боулінгіт, формує келіфітові облямівки, а в ядрі – серпентин двох генерацій (серпофіт і лизардит). Гранат спостерігається у вигляді тріщинуватих зерен, що містять включення магнетиту і біотиту. Навколо зерен гранату відмічаються келіфітові облямівки, утворені агрегатами серпентин-карбонат-хлоритового складу, іноді – пилоподібним рудним мінералом.

Кімберлітові брекчії інтенсивно перероблені вторинними процесами: карбонатизацією, серпентинізацією, оталькуванням. Карбонати представлені трьома різновидами: кальцитом, доломітом і стронціанітом. Зв'язуюча маса кімберлітів представлена тонкозернистим агрегатом складного складу: серпентин, перовськіт, карбонати, брусит і поодинокі зерна амфіболу. Іноді навколо окремих вкраплеників кімберліту спостерігаються скупчення голчастих зерен апатиту. Карбонатні мінерали в кімберліті заміщують як вкрапленики, так і сполучну масу породи.

Серед кімберлітів трубки Лорелей визначені деякі різновиди, збагачені флогопітом. У їх складі зустрічаються поодинокі порфірові вкрапленики флогопіту, серпентинізовані зерна олівіну, оплавлені зерна тріщинуватого гранату. Тріщини вповнені рудним мінералом, біотитом і хлоритом. По периферії гранатових зерен спостерігається оболонка келіфіту серпентин-карбонат-хлоритового складу.

Хромдіоксид досить рідко зустрічається в кімберлітах трубки Лорелей і представлений окремими уламками або цілими зернами округло-овальної форми з фрагментами облямівки з тонкозернистого агрегату кальциту. За кольором виділяються два різновиди: зелений з жовтуватим відтінком і смарагдово-зелений піроксен (рис. 1).

Перший різновид, як правило, містить включення пластинчастої та голчастої форми, чітко орієнтовані по площині спайності, що вказує на епігенетичну природу.

Другий різновид – яскраво-зелені зерна хромдіоксиду з підвищеною тріщинуватістю. При вивченні полірованих пластин встановлюються кристалофлюїдні включення, приурочені до тріщин. Форма включень округла, розмір не перевищує 30 мкм. Встановити фазу кристалізації немає змоги.

За результатами мінералогічних досліджень встановлено, що клінопіроксен належить до хромдіоксидів хромової мінеральної асоціації. Клінопіроксен титанової та еклогітової асоціацій не виявлений.

Практично всі вкрапленики мінералів кімберліту оточені келіфітовими облямівками, представленими агрегатом серпентин-хлоритового складу. У складі вкраплеників спостерігаються зерна

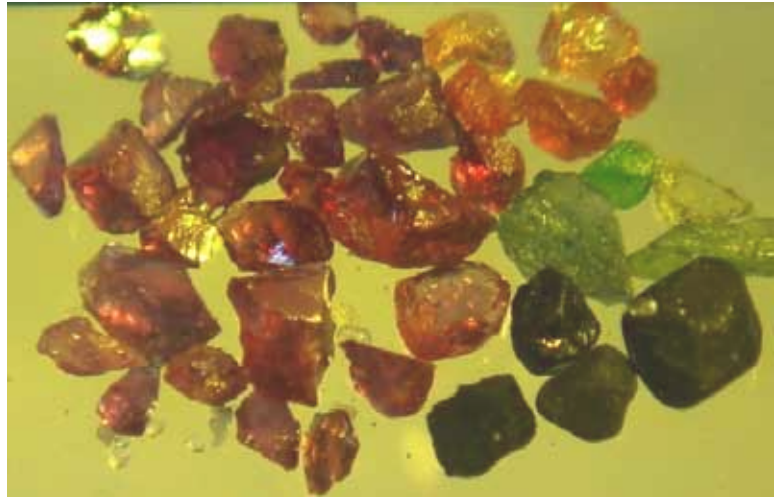


Рисунок 1. Зерна хромдіоксиду двох різновидів, піропу та хромшпінелідів з кімберліту трубки Лорелей

рудного мінералу і псевдоморфози булінгіту по олівіну. Основна маса – карбонат-серпентинового складу з флогопітом. Ксеноліт кімберлітових брекчій містить фрагменти горнблендитів і інтенсивно зміненого габро.

Окремі різновиди вивчених кімберлітових брекчій можуть бути віднесені до типу автолітових, що сформувалися в результаті зміщення декількох мантийних виплавок різних за складом диференційованих порід, які залягають на різних рівнях верхньої мантиї [1]. На користь цього припущення свідчить наявність у складі вкраплеників кімберліту так званих автолітів – агрегатів, що складаються з ідіоморфних зерен серпентинізованого олівіну, оточених облямівкою дрібнопорфірового кімберліту.

В автолітових фрагментах спостерігається ідіоморфний характер псевдоморфоз, що успадкували форму заміщеного олівіну. Поряд з автолітами у складі брекчій відзначаються і округло-овальні псевдоморфози серпентинізованого олівіну, а також уламки горнблендиту і гранат-біотитового слюдиту. Структура породи брекчіївидна.

У процесі випробування трубки Лорелей були виявлені кристали алмазу (рис. 2, 3). Ці алмази представлені кристалами або осколками кристалів, а також зростками двох і більше індивідів. Переважають осколки і пошкоджені зерна.

Алмази в основній масі безбарвні або з незначним жовтим відтінком, коричневі кристали зустрічаються рідше. У трубці Лорелей більшість зразків алмазу представлені ромбододекаедрами

(рис. 3) або їх осколками (VI група за класифікацією З.В. Бартошинського) [2]. За класифікацією Ю.Л. Орлова [3], всі виявлені кристали були віднесені до I групи. Значна їх частина має порушену симетрію, для більшості характерне сильне сплюснення по осях симетрії L3 і L2.

Співвідношення первинної та сколотої поверхонь для різних кристалів не однакове. Іноді на тлі багато скульптурованої горбкуватої поверхні відколу залишаються тільки релікти гладких граней, але частіше кривогранна тонколамінарна поверхня переважає.

Мікрорельєф граней і поверхонь відколу характеризується широким проявом процесів корозії і розчинення насамперед за рахунок розвитку краплевидної мікроскульптури [4]. Утворення останньої, згідно з експериментальними даними, відбувається за часткового розчинення алмазу у водомістких силікатних розплавах, близьких за складом до лужних базальтів і лампроїтів [5].

Крім краплевидно-блокової скульптури, на кривогранних поверхнях кристалів відзначається також груба штриховка, що переходить у нерівномірну борознистість. Тонкі борозни проходять через всю поверхню алмазу, заломлюючись на швах граней, тобто форма їх зумовлена формою шарів розчинення.

Окрім викривлених кривогранних кристалів і їх уламків неправильної форми, були виявлені незакономірні зростки їх різновеликих індивідів. На поверхні октаедричних індивідів у багатьох випадках присутні скульптури, що утворюються в процесі розчинення алмазу.

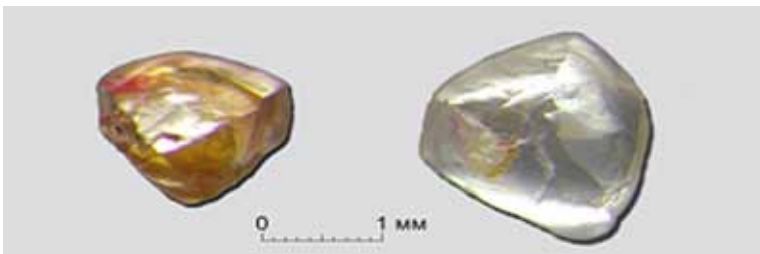


Рисунок 2. Алмази з кімберлітів трубки Лорелей



Рисунок 3. Кристал алмазу ювелірної якості. Розмір 3 мм

Характерними морфологічними ознаками напівкруглих кристалів є сніповидне штрихування, діагональна шаруватість на октаедричних гранях, плоскодонні виступи, що представляють фрагменти дитригональних шарів. Є переконливі докази утворення подібних скульптур під час розчинення алмазу на початкових стадіях процесу,

оскільки через втрати початкової маси більш ніж на 10 % фігури травлення на гранях зникають і формується шаруватість розчинення.

У разі присутності великих дефектів (тріщини, мікродвійники) діагональні шари у вигляді опуклих трикутників поділяються на окремі ділянки з утворенням поліцентричної шаруватості. Крім

незакономірних зростків, для алмазів характерна наявність закономірних шпінелевих двійників. У деяких кристалах виявлені включення чорного кольору, ймовірно графіту.

Основні висновки попередніх досліджень можна резюмувати таким чином:

- велика частина досліджених кристалів алмазу є ромбододекаедрами;
- кристали октаедричного габітусу не виявлені, за винятком зростків октаедричних кристалів;
- згідно з класифікацією Ю.Л. Орлова, всі зразки кристалів віднесено до I групи різновидів;
- згідно з класифікацією З.В. Бартошинського, більшість зразків трубки Лорелей віднесено до VI морфологічної групи – округлі алмази з різною мікроморфологією поверхні;
- всі кристали алмазу трубки Лорелей несуть сліди часткового розчинення у вигляді мікрогорбків, що складають шагреновий рельєф (для більшості кристалів), а також ямки травлення трикутного і квадратного перетинів та каверни, які розвиваються по ослабленим зонам;
- на поверхні великої кількості кристалів виявлені протоматичні відколи, в деяких випадках регенеровані, що частіше несуть сліди розчинення, деякі зразки мають техногенні відколи вершин.

#### Використана література

1. Харьков А.Д. Коренные месторождения алмазов мира. / А.Д. Харьков, Н.Н. Зинчук, А.И. Крючков – М.: Недра, 1998. – 567 с.
2. Бартошинский З.В. Сравнительная характеристика алмазов из различных алмазоносных районов Западной Якутии. / З.В. Бартошинский // Геология и геофизика. – 1961. – №6. – С. 40–50.
3. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. / Ю.Л. Орлов – М.: Наука, 1984. – 264 с.
4. Квасница В.Н. Природа алмаза. / В.Н. Квасница, А.Д. Харьков, Н.Н. Зинчук – К.: Наукова думка, 1994. – 229 с.
5. Гаранин В.К. Включения в алмазе и алмазоносные породы. / В.К. Гаранин, Г.П. Кудрявцева – М.: МГУ, 1991. – 239 с.

УДК 666.972

*Е.И. Демченко, кандидат технических наук  
инженер ООО «АКАМ», г. Днепрпетровск  
И.Е. Мороз, генеральный менеджер ООО «АКАМ»  
г. Днепрпетровск  
С.К. Бодигин, директор ЧП «Тепла хата»  
г. Днепрпетровск*

## **Экологическое обоснование производства пенобетона неавтоклавного твердения с использованием отходов производства камнеобрабатывающего предприятия**

*У роботі запропонована технологія раціональної екологічно чистої утилізації відходів камнеобробного підприємства шляхом використання шламу як наповнювача неавтоклавно-го пінобетону. Наведено результати фізико-механічних випробувань дослідної партії продукції.*

*The technology of efficient and ecologically recycling of stone processing enterprises through the use of sludge as a filler for non-autoclaved aerated concrete was investigated. The physical and mechanical test results of an experimental batch of products was represented*

### **Введение**

Утилизация твердых пылевидных отходов (шлама) камнеобрабатывающих предприятий имеет острую экологическую проблему. Нерациональное накопление отходов в отвалах приводит к загрязнению окружающей среды. При аналитическом подходе к данной проблеме и детальном рассмотрении физико-химических свойств шлама можно заметить, что отходы можно использовать в качестве ценного сырья для производства ячеистых бетонов.

Облегченные строительные ограждающие конструкции с повышенными теплозащитными свойствами пользуются большим спросом у современного потребителя и широко применяются для снижения энергозатрат в конструкциях и сооружениях различного назначения.

На этом фоне приоритетной задачей производителей строительных материалов является предложение качественного конкурентоспособного продукта. При этом сильная конкуренция приводит к вынужденной экономии на качестве шихтовых материалов, что в результате сказывается на качестве готовой продукции в целом. Решением данной проблемы может служить применение отходов производства в качестве сырьевых материалов.

Неавтоклавные пенобетоны на фоне относительно простой технологии изготовления характеризуются достаточно нестабильной структурой и комплексом конструктивных свойств. Поэтому технология требует четкого соблюдения всех операций и постоянного анализа параметров производства.

На основании вышеуказанного разработка и внедрение использования отходов камнеобрабатывающих предприятий в производстве ячеистых бето-

нов неавтоклавного твердения является весьма актуальной задачей.

### **Цель и постановка задачи**

Целью данной работы является определение возможности использования в качестве заполнителя для пенобетона отходов камнеобрабатывающей продукции в виде пылевидного шлама.

Для решения поставленной цели были решены следующие задачи: произведена опытная партия пенобетона со шламом в виде заполнителя техногенного происхождения; определено влияние заполнителя на физико-механические свойства пенобетона.

### **Основная часть**

В качестве наполнителя в пенобетона классически рекомендуют [1] использовать дробленый фракционированный кварцевый песок (ДФКП).

К преимуществам применения ДФКП можно отнести:

- ДФКП прочно сцепляется с цементным камнем благодаря шероховатости поверхности, острым углам зерен и минимальному количеству загрязнения глиноземом.
- Высокая прочность.
- Возможность использования фракционно подготовленную смесь, т.е. подбор фракций заполнителя осуществлять таким образом, чтобы получить бетонно-песчаную смесь максимально плотной структуры, заполняя пустоты в пространстве между частицами, и минимизировать арочный эффект.

Таким образом, измельчение песка позволяет не только повысить его удельную поверхность, получить требуемый гранулометрический состав, но и улучшить качество поверхности частиц путем удаления и разрушения поверхностных неактивных пленок. Создание чистой и активной поверхности зерен песка повышает его реакционную способность в различных процессах. Следует добавить, что операция многократного измельчения одного и того же песка позволяет не только удалить загрязняющие пленки, но и придать песку некоторую степень вяжущих свойств. При этом применение ДФКП влечет за собой дополнительные технологические операции: размол, сушка, рассев.

К недостаткам использования песка необходимо отнести наличие вредных примесей, а именно глины и органических соединений (особенно – гуминовые кислоты). Данный ряд примесей является сильными ингибиторами «схватывания» и «твердения цемента».

При сравнении удельных поверхностей глинистых частиц с частицами цемента (2400 и 3000 м<sup>2</sup>/л соответственно) можно заметить, что она уже практически приближается к аналогичным показателям цемента. Если учесть, что по условиям обеспечения максимальной прочности каждая частичка заполнителя должна быть покрыта оболочкой цементного раствора, получается, что на обволакивание ультрамелких частиц требуется гораздо больше раствора.

Рациональным видится замена применения ДФКП на пылевидные отходы (шлам) камнеобрабатывающей промышленности со схожими технологическими свойствами.

Образование шлама можно описать следующим образом: для производства плит из натурального камня применяется алмазно-канатные распиловочные машины (рис. 1).

свойства (тиксотронные и дилатантные), расслаиваемость, воздухововлечение, когезионную прочность растворов, усадочные деформации, прочность сцепления с основаниями, водонепро-



Рисунок 1. Алмазно-канатная распиловочная машина на производстве ООО «АКАМ»

При распиле блоков камня охлаждение алмазного каната производится при помощи воды, которая вымывает образовавшийся в результате резки шлам. По водосточным каналам шлам подается на водоочистные сооружения замкнутого типа, где происходит отделение воды и шлама. Вода после очистки возвращается на нужды производства, а шлам с минимальным количеством влаги (до 5 %) подается в накопители. Производственная мощность предприятия ООО «АКАМ» позволяет получать до 300 т/мес. отходов в виде шлама. Производство преимущественно ориентировано на обработку лабрадорита Слободского месторождения, поэтому химико-минералогический состав шлама известен и представлен в таблице 1.

Известно [2], что морфология частиц наполнителя влияет на: подвижность раствора и смеси, реологические

нищаемость, устойчивость к агрессивным воздействиям и др.

Физико-механические свойства мелкого наполнителя влияют на реологические свойства бетонной смеси – предельное напряжение сдвига, вязкость и на плотность бетона.

Свободная поверхность шлама, или, другими словами, механоактивной добавки, после измельчения не является равновесной и статически устойчивой. В приповерхностном слое начинаются процессы перестройки в направлении равновесного состояния. Однако, как показывает практика, расфасованные механоактивированные цементы, сохраняют свою активность в течение года и более.

Одним из важных технологических свойств шлама является фракционный состав. Так, весь фракционный состав шлама лежит в пределах 0–16 мкм. Другим немаловажным технологичес-

Таблица 1. Химико-минералогический состав лабрадорита Слободского месторождения

Минерал	Содержание, %				
	Na <sub>2</sub> O	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Альбит—анортит
Лабрадор	4,0	13,3	31,8	51,9	30% Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ] — 70% Ca[Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ]

ким свойством наполнителя является форма частиц. Так, благодаря особенностям структуры плагиоклаза (главной составляющей лабрадорита) при распиле блока камня алмазными канатами частицы шлама приобретают форму чешуек. Такая форма способствует созданию в межпоровой перегородке пенобетона более плотной упаковки частиц (рис. 2).

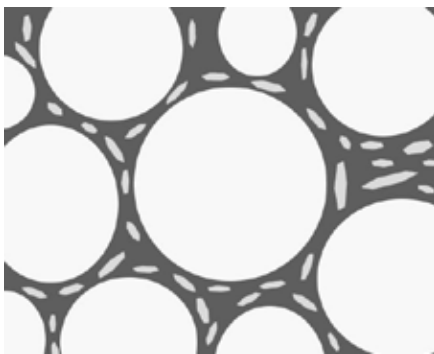


Рисунок 2. Схематическое изображение структуры пенобетона: белыми кругами обозначены поры; черным – цементный раствор; серым – частицы шлама

Условная схема показывает, как чешуйчатые частицы располагаются между воздушными пузырьками в теле цементного раствора. При этом частицы располагаются в пространстве между пузырьками (межпоровом пространстве), плотно упаковываются и повторяют их шаровидную форму. Данная схема, на наш взгляд, будет способствовать повышению физико-механических свойств готового изделия.

В обратном же случае, если в межпоровой перегородке не достигается стесненного состояния, то образовавшиеся первичные продукты гидратации будут находиться преимущественно в гелеобразном состоянии, при высыхании которых начнут развиваться усадочные явления, как в межпоровых перегородках, так и во всем массиве пенобетонного изделия [3]. Сформировавшаяся перегородка при таких условиях будет обладать небольшой прочностью, что в свою очередь приводит к резкому снижению прочностных характеристик пенобетона.

К преимуществам использования механоактивированного шлама можно отнести следующее:

- образование активных центров на свежесформированной поверхности позитивно влияет на увеличение реакционной способности;

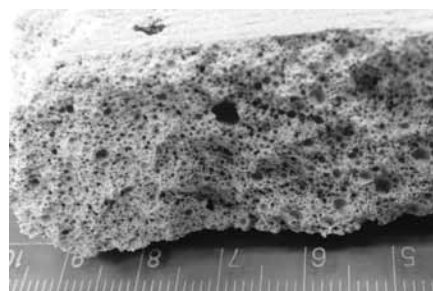
- места выхода дислокаций на поверхности частиц кристаллов служат энергетической ямой для зарождения энергообразующего процесса гидратации цемента;

- стабильность гранулометрического состава.

В условиях ЧП «Тепла хата» была произведена опытная партия пенобетона марки Д 600 с применением шлама в качестве наполнителя. Макроструктура излома пенобетона представлена на рисунке 3.

Использование шлама в пенобетонной смеси позволяет повысить её агрегативную устойчивость в период схватывания цементного теста и тем самым предотвратить перемещение компонентов в пространстве под действием гравитационной составляющей компонентов. Отмечено явное отсутствие седиментации раствора по высоте, что положительным образом сказывается на анизотропии свойств готового изделия.

Прочность на сжатие образцов с использованием в качестве наполнителя песка и шлама составила  $14,4 \pm 0,6$  и  $13,0 \pm 0,7$  кгс/см<sup>2</sup>, соответственно. В соответствии с ДСТУ Б В.2.7-45:2010,



а



б

Рисунок 3. Макроструктура пенобетона марки Д 600

полученные данные позволяют отнести материал к теплоизоляционным ячеистым бетонам неавтоклавного твердения с классом прочности на сжатие В 0,75.

Применение шлама в технологической схеме (рис. 4) позволяет сократить технологические операции, что ускорит процесс и снизит себестоимость продукции.

Дальнейшие исследования будут направлены на:

- детальный анализ влияния химико-минералогического состава шлама на процессы гидратации;

- исследование структуры и технологических свойств частиц наполнителя, а также прочности сцепления цементного камня с поверхностью зерен заполнителей;

- повышение физико-механических свойств блоков ячеистых бетонов неавтоклавного твердения.

### Выводы

1. Применение отходов камнеобрабатывающего производства в виде шлама в качестве активного наполнителя для производства ячеистого пенобетона неавтоклавного твердения позволяет решить экологическую проблему – благодаря утилизации пылевидных отходов и предотвращения вредного влияния отходов на окружающую среду прилегающей территории.

2. При переходе к использованию шлама наблюдается экономический эффект за счет исключения операций подготовки и активации мелкого наполнителя.

3. Замечено отсутствие седиментации цементного раствора по высоте, что сказывается положительным образом на анизотропии свойств готового изделия.



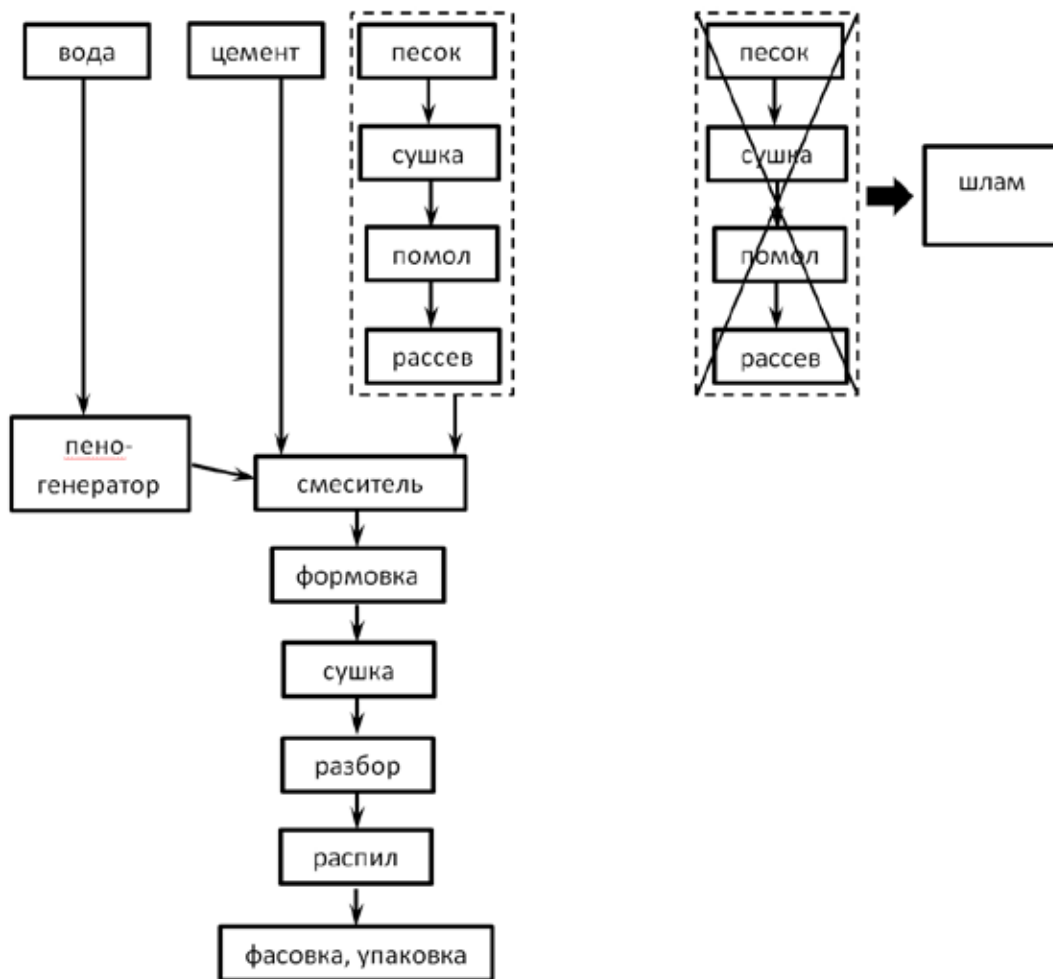


Рисунок 4. Общая технологическая схема производства блоков пенобетона

#### Использованная литература

1. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В., Магдеев У.Х. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. / Учебник для вузов. – М.: АСВ, 2004г. – 256 с.
2. Виноградов Б.Н. Заполнители для бетона. – М.: Стойиздат, 1981. – 220 с.
3. Митина Н.А. Получение прочного неавтоклавногазобетона путем регулирования состава и свойств исходных смесей: Автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов» / Н.А. Митина. – Томск, 2003. – 20 с.

28 / 09 30 / 09 / 2015 Японія, Токіо	<b>IJT 2015 - Jewellery Tokyo</b> <i>Міжнародна ювелірна виставка</i>
06 / 10 10 / 10 / 2015 ОАЕ, Шарджа	<b>MidEast Watch &amp; Jewellery Show 2015 Sharjah</b> <i>Міжнародна близькосхідна виставка коштовностей, ювелірних виробів і годинників</i>
15 / 10 18 / 10 / 2015 Туреччина, Стамбул	<b>Istanbul Jewelry Show</b> <i>Міжнародна виставка ювелірних виробів, інструментів та обладнання для ювелірно промисловості, годинників</i>
15 / 10 18 / 10 / 2015 Україна, Харків	<b>Ювелір-Еліт</b> <i>Українська ювелірна виставка</i>
15 / 10 18 / 10 / 2015 Індія, Ченнай	<b>ZAK Jewels Expo Chennai</b> <i>Міжнародна ювелірна виставка</i>
27 / 10 30 / 10 / 2015 Іран, Тегеран	<b>KishGoldEx - 2015</b> <i>Міжнародна виставка ювелірних виробів, годинників, дорогоцінного і напівдорогоцінного каміння</i>
30 / 10 01 / 11 / 2015 Німеччина, Мюнхен	<b>Mineralientage Munchen - 2015</b> <i>Міжнародне шоу мінералів, копалин, дорогоцінного каміння і ювелірних виробів</i>
31 / 10 02 / 11 / 2015 Греція, Салоніки	<b>Kosmima 2015</b> <i>Міжнародна виставка ювелірної промисловості</i>
06 / 11 09 / 11 / 2015 Китай, Ханчжоу	<b>Hangzhou International Jewellery &amp; Gem Fair - 2015</b> <i>Міжнародна виставка золота, ювелірних прикрас і дорогоцінного каміння</i>
06 / 11 09 / 11 / 2015 Чехія Брно	<b>Minerals Brno 2015</b> <i>Міжнародна виставка мінералів, скам'янілостей, дорогоцінного каміння та ювелірних виробів</i>
12 / 11 15 / 11 / 2015 Україна, Київ	<b>Ювелір Експо Україна</b> <i>Міжнародна виставка ювелірних виробів, банківських металів, годинників, обладнання і інструментів</i>
20 / 11 23 / 11 / 2015 Тайвань, Тайбей	<b>Taiwan Jewellery and Gem Fair</b> <i>Міжнародна виставка діамантів, дорогоцінного і напівдорогоцінного каміння, природних морських і прісноводних перлів, ювелірних прикрас, годинників</i>
24 / 11 28 / 11 / 2015 Бахрейн, Манама	<b>JEWELLERY ARABIA 2015</b> <i>Міжнародна близькосхідна виставка коштовностей, ювелірних виробів і годинників</i>
03 / 12 06 / 12 / 2015 Україна, Одеса	<b>Ювелірний салон</b> <i>Міжнародна спеціалізована виставка-ярмарок ювелірних виробів, прикрас і коштовних подарунків</i>
04 / 12 06 / 12 / 2015 Греція, Афіни	<b>GeMin - 2015</b> <i>Міжнародна виставка мінералів, скам'янілостей, дорогоцінного каміння і ювелірних виробів</i>
09 / 12 12 / 12 / 2015 ОАЕ, Дубай	<b>Dubai International Jewellery Week</b> <i>Міжнародний ювелірний тиждень в ОАЕ</i>
19 / 12 22 / 12 / 2015 Індія, Джайпур	<b>Jaipur Jewellery Show 2015</b> <i>Міжнародна виставка ювелірних виробів і дорогоцінного каміння</i>

30 / 09 03 / 10 / 2015 Італія, Верона	<b>Marmomacc 2015</b> <i>Міжнародна спеціалізована виставка мармуру, дизайну мармурових виробів і технологій обробки каменю</i>
01 / 10 04 / 10 / 2015 Йорданія, Амман	<b>Interbuild Jordan Fair 2015</b> <i>Міжнародна виставка і конференція будівельної індустрії, будівельних технологій, архітектури, природного каміння і мармуру</i>
17 / 10 20 / 10 / 2015 Іран, Тегеран	<b>IranConMin 2015</b> <i>11-а міжнародна виставка машин, обладнання, технологій і матеріалів для будівельної, каменеобробної, гірничої та вугільної галузей</i>
26 / 10 29 / 10 / 2015 Саудівська Аравія, Ер-Ріяд	<b>Saudi Stone Tech 2015</b> <i>Міжнародна спеціалізована виставка каменю і каменеобробки</i>
04 / 11 07 / 11 / 2015 Туреччина, Стамбул	<b>NATURAL STONE</b> <i>12-а міжнародна виставка мармуру, виробів з природного каменю і технологій його обробки</i>
05 / 11 08 / 11 / 2015 Туреччина, Ізмір	<b>TurkeyBuild Izmir 2015</b> <i>Міжнародна виставка будівництва, будівельних матеріалів і технологій</i>
29 / 10 01 / 11 / 2015 Індія, Мумбай	<b>ACETech 2015 Mumbai</b> <i>Міжнародна виставка архітектури, будівництва, будівельних матеріалів (у тому числі: граніту, мармуру, травертину, оніксу, різноманітних виробів з каменю і технологій їх виробництва)</i>
04 / 11 06 / 11 / 2015 Китай, Шанхай	<b>External Wall Decoration Materials Expo 2015</b> <i>Міжнародна виставка оздоблювальних матеріалів для зовнішніх стін і технологій облицювання</i>
02 / 11 06 / 11 / 2015 Франція, Париж	<b>BATIMAT 2015</b> <i>Міжнародна спеціалізована будівельна виставка</i>
18 / 11 20 / 11 / 2015 Японія, Токіо	<b>Japan Home &amp; Building Show 2015: Stone Fair Tokyo</b> <i>Міжнародна виставка каміння в Японії є новою і єдиною у своєму роді виставкою архітектурного каміння з усього світу</i>
18 / 11 21 / 11 / 2015 Туреччина, Анталія	<b>Yapex Building Exhibition 2015</b> <i>Міжнародна виставка будівництва і будівельних матеріалів</i>
18 / 11 21 / 11 / 2015 Польща, Познань	<b>Kamien Stone 2015 Stone Industry Fair 2015</b> <i>Міжнародна виставка обладнання і технологій для видобутку і обробки природного каміння (граніту, мармуру, пісковика, вапняку, травертину), напівфабрикати і вироби з каменю</i>
23 / 11 26 / 11 / 2015 ОАЕ, Дубай	<b>THE BIG 5 SHOW 2015</b> <i>Міжнародна близькосхідна широкопрофільна будівельна виставка</i>
25 / 11 28 / 11 / 2015 Туреччина, Бурса	<b>Bursa Marble Block Fair 2015</b> <i>Міжнародна виставка природного каменю і технологій його обробки</i>
10 / 12 13 / 12 / 2015 Тайвань, Тайбей	<b>International (Taipei) Building, Construction &amp; Decoration Exhibition</b> <i>Міжнародна виставка архітектури, будівництва і декору</i>
15 / 12 17 / 12 / 2015 Пакистан, Карачі	<b>Stonefair Asia 2015</b> <i>Міжнародна виставка природного каменю, технологій його обробки, виробів, обладнання для видобутку і обробки</i>

## Шановні читачі!

Нагадуємо, що Державний гемологічний центр України згідно з наказом Міністерства фінансів України від 06.12.2000 № 312

**проводить реєстрацію власних і торгових назв**

дорогоцінного каміння, дорогоцінного каміння органогенного утворення і декоративного каміння з родовищ України

Зареєстровані торгові назви входять до уніфікованої обліково-інформаційної системи власних ознак природного каміння з родовищ України — Реєстру природного каміння України!

*Власники свідоцтв про реєстрацію торгових назв отримують можливість:*

- вирішувати питання правомірності використання власних і торгових назв природного каміння України;
- підтримки та просування власних і торгових назв на національному та зовнішньому ринках (за рахунок надання інформації про торгову назву на сайті ДГЦУ, в довіднику "КДК" та інших виданнях);
- регулювання прав власників торгових назв природного каміння при здійсненні торгових операцій.

### Порядок подання матеріалів на реєстрацію торгової назви природного каміння

1. Подання заяви щодо внесення власної й торгової назв до Реєстру природного каміння на ім'я директора ДГЦУ.
2. Надання до ДГЦУ відомостей у 10-денний термін за таким переліком:
  - документ, що підтверджує право володіння або розпорядження природним камінням (окремим каменем);
  - технічна картка родовища природного каміння (для надрокористувачів);
  - копія протоколу Державної комісії України по запасах корисних копалин (далі — ДКЗ) (для надрокористувачів);
  - стислі письмові пояснення щодо якісних характеристик природного каміння (окремого каменя), необхідні для встановлення їх відповідності власній і торгової назвам;
  - пропозиції щодо власної і торгової назв природного каміння (окремого каменя) українською, російською та англійською мовами (у разі потреби — іншими мовами) з відповідним обґрунтуванням (мотивацією);
  - еталонні зразки (для дорогоцінних, дорогоцінних органогенного утворення і напівдорогоцінних каменів — зразки довільної форми й розмірів; для декоративних каменів — поліровані плити розміром 300 x 300 мм);
  - копія сертифіката радіаційної безпеки.

Перелік власних і торгових назв природного каміння з родовищ України, включених до Реєстру природного каміння, щоквартально публікується в журналі **"Коштовне та декоративне каміння"**.

*Детальну інформацію можна отримати на сайті Державного гемологічного центру України [gems.org.ua](http://gems.org.ua) і за тел.: 492-9318, 483-3177.*

## ШАНОВНІ ЧИТАЧІ ТА ДОПИСУВАЧІ!

Редакція журналу "Коштовне та декоративне каміння" приймає для публікації наукові та науково-публіцистичні статті, тематичні огляди, нариси щодо коштовного, напівкоштовного та декоративного каміння, виробів з нього, напрямів і культури використання, новин світового та вітчизняного ринку тощо.

1. Статті публікуються українською, російською або англійською мовою.

2. Матеріали надаються в електронному вигляді у форматі «doc», шрифт – Times New Roman, розмір 12, з одинарним інтервалом, сторінки без нумерації, вирівнювання по ширині, усі поля – 2 см, абзац – 1,25, без переносів, обсяг статті – 2-8 сторінок формату А4.

3. Структура матеріалів:

- УДК;
- назва статті українською (або російською) і англійською;
- П. І. Б. автора чи авторів українською (або російською) і англійською мовами;
- номер ORCID авторів (за наявності);
- анотація (резюме) українською, російською і англійською мовами;
- ключові слова (не більше 7 слів) українською, російською і англійською мовами;
- текст статті;
- відомості про кожного автора українською (або російською) і англійською мовами, де вказано: прізвище, ім'я та по батькові; науковий ступінь, вчене звання; місце роботи і посада; службова адреса; номер телефону, e-mail;
- список літератури.

4. Малюнки (у форматі JPG) та таблиці (мають бути вертикально розташовані) повинні мати назву та посилання на них у тексті статті.

5. Формули повинні бути набрані у редакторі формул MathType (посилання на формули у тексті мають вигляд (1), (2-4)).

6. Перелік літератури за алфавітним порядком (посилання у тексті мають вигляд: [1], [2 – 6]).

7. Рукопис повинен бути датований і підписаний автором.

8. Матеріали подаються до редакції для редагування і корекції тексту не пізніше ніж за 1,5 місяця, а для форматування – за 1 місяць до публікації видання "КДК".

9. Редакція не несе відповідальності за точність викладених у матеріалах фактів, цитат, географічних назв, власних імен, бібліографічних довідок і можливі елементи прихованої реклами, а також використання службових й конфіденційних матеріалів окремих організацій, картографічних установ, усіх об'єктів інтелектуальної власності та залишає за собою право на літературне й граматичне редагування.

10. Неопубліковані матеріали, рисунки, графіки та фото автора не повертаються.

Просимо звертатись за адресою:  
ДГЦУ, вул. Дегтярівська, 38–44  
м. Київ, 04119  
тел.: 492-93-28, тел./факс: 492-93-27  
e-mail: [olgel@gems.org.ua](mailto:olgel@gems.org.ua)