

УДК 549(477)

## ОПАЛ У ПОРОДАХ УКРАЇНИ

Є. Сливко

*Львівський національний університет імені Івана Франка  
79005 м. Львів, вул. Грушевського, 4  
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

Зведено відомості про поширення та різноманітні особливості опалової мінералізації в геологічних утвореннях України. Мінерал виявлений майже в усіх мінералогічних провінціях та породах різного віку. Стисло проаналізовано фізичні й хімічні властивості опалу та його генетичні особливості.

*Ключові слова:* опал, форми виділень, фізичні та хімічні властивості, генезис, Україна.

Праця продовжує цикл публікацій (див. *Матковський О.* Баритова мінералізація в геологічних утвореннях України // Мінерал. зб. 2004. № 54. Вип. 2), метою яких є узагальнення відомостей про головні особливості поширених в Україні мінералів, що слугуватиме основою для підготовки першого навчального видання з мінералогії України.

Опал – поширений в Україні мінерал, наявний майже в усіх мінералогічних провінціях. Він трапляється у вигляді різноманітних виділень різного забарвлення й ступеня прозорості у різновікових геологічних утвореннях – від докембрійських до четвертинних.

**Поширення.** У межах мінералогічної провінції архейських кратонів Українського щита (УЩ) [20] опал у вигляді опалових і опал-халцедонових жил поширений серед змінених ультрабазитів – лімонізованих, нонтронізованих, скременілих, карбонатизованих і вилугуваних серпентинітів у Середньому Побужжі на стику Кіровоградської та Миколаївської областей (Деренюхінське і Капітанівське родовища в околицях селища Побузького) і в Середньому Придніпров'ї поблизу Славгорода (Дніпропетровська обл.) в урочищі Кам'яний Бугор [6]. Здавна відомі прояви опалу, приурочені до пеліканізованих гранітів, у Житомирській, Київській, Вінницькій, Черкаській, Кіровоградській і Дніпропетровській областях. У цих гранітах під час їхньої каолінізації за умов недостатньої вологи польовий шпат заміщувала механічна домішка двох мінералів – прихованокристалічного опалу й каолініту. Найвідоміші прояви благородного опалу у Вінницькій обл. розташовані в околицях сіл Люлінці, Глухівці, Іллінці та ін. [7, 25]. У басейні р. Синюхи (середня течія р. Тернівки) відшукали прожилки вогняного опалу, інколи з малюнком, як в агатах, причому містяться вони не в пеліканітах основи, а у відкладах чохла УЩ. Чохол тут представлений вапняками, що заміщені опалом і кристобалітом; у вапняках наявні відбитки неогенової фауни (скременілі черепашки моллюсків, форамініфери, спікули губок). Власне  $\beta$ -кристобалітом і опалом складена пачка пористих

порід бузкового відтінку потужністю до декількох метрів у нижній частині відкладів чохла, розташованих на пеліканітизованих гранітах [27, 28].

У волинських пегматитах опал часто трапляється в пегматитових тілах разом із халцедоном. Зону інтенсивного розвитку опалу зафіксовано навколо кварц-мусковіт-флюоритового грейзену в топазизованому пегматиті. У пегматитах також виявлено незвичайний чорний опал, який містить до 3,9 % органічної речовини [14, 22, 26]. Подібний опал відшукали і в корі звітрювання ультраосновних порід урочища Кам'яний Бугор [3].

Порівняно рідкісний опал у Криворіжжі. У звітрених залізистих роговиках наявний опаловий цемент між зернами кварцу. Найбільші скупчення опалу відомі в Північному районі Кривбасу в корі звітрювання гранітів і гнейсів ділянки Петрове, балки Власівської, у звітрених егіринізованих породах кар'єру "Урсати" та залізистих роговиках Ганнівського кар'єру. У вигляді прожилків незначної потужності мінерал трапляється в зоні окиснення залізних руд. У пористих мартизових рудах Саксаганського району виявлено дрібні виділення опалу, які цементують мартит. У Південному районі найвідоміший опал із кременистих опок шахти "Візірка" та в зоні звітрювання магнетитових роговиків і сланців кар'єру Ігулецького гірничозбагачувального комбінату [15]. На Марганецькому родовищі, розташованому на вододілі Дніпра й Томаківки, в зоні окисдно-карбонатних манганових руд наявні нонтронітові конкреції діаметром 3–7 см, зцементовані опалом і халцедоном [18].

У Приазов'ї кременисті кварцитоподібні пісковики полтавської серії містять прошарки благородного опалу (по ріках Конка, Кальчик, Гайчул, балці Водяна та ін.). У 1967 р. опал виявили у відвалах кар'єру будівельного каменю поблизу с. Катеринівка (Східне Приазов'я). Крім звичайного, тут є опал, який за властивостями наближається до благородного. Мінерал виявлено також у корі звітрювання сланців балки Крутої. Кременисті стяжіння опал-халцедонового складу трапляються серед пісковиків Новополтавської ділянки. Дрібні уламки зовсім непрозорого опалу відшукали на північ від сіл Вишневе і Вільне [16].

У Донбасі опал широко розвинений лише в араукаритовій товщі, крейдових і частково третинних осадових відкладах. В араукаритовій товщі він разом з халцедоном або самостійно заміщує араукарити (викопні рештки стовбурів хвойних рослин), є в складі крейдових спонголітів, гезів, опок і трепелів окраїн Донбасу. Мінерал виповнює спікули губок, разом з кварцом і халцедоном слугує цементом гезів. У третинних відкладах опал є породотворним мінералом пісковиків або міститься в цементі самостійно чи з іншими мінералами [12]. У Луганській обл. поширені прояви деревного опалу в басейнах рік Айдар, Ковсуг, Деркул та інших, найбагатші – поблизу Новопскова біля с. Осинового. Скам'янілі фрагменти деревних рослин іноді перевищують 0,5 м у довжину за товщини 15–20 см, їх часто відшукують під час розробки еоценових пісків і пісковиків [5]. Включення опалу виявили у вугіллі Павлоградсько-Петропавлівського району Західного Донбасу (самарська світа нижнього карбону, пласти  $C_1-C_{12}$ ) [1].

Досить частий опал у породах Волино-Поділля. Він значно поширений у корі звітрювання базальтів Волині [17], відомий у доордовицьких пісковиках (у складі гідролудистого цементу) та верхньокрейдових силіцитах (разом з кварцом є головним породотворним мінералом). Опалом складені скелетні ґратки кремнеорганізмів – спікули губок, радіолярії тощо, а також глобулярна кремнеземова речовина сеноманських трепелів. Опалові спікули губок утворюють опалові гези [10].

Опал – поширений мінерал Карпатського регіону. У Передкарпатті він наявний головню в пісках і алевролітах як цементувальний матеріал. Первинний опал відшукали в гальці спонголітів і опок конгломератів (стебницькі й нижньоворотищенські відклади). Нерідко опалом складені скелети спікул губок у спонголітах. У відкладах менілітової серії опал є в бітумінозних аргілітах і халцедонолітах [11], трапляється й у складі силікатно-карбонатних манганових руд Українських Карпат [21]. У Закарпатті опал частий у вулканічних породах Вигорлат-Гутинського пасма (дацити, а також андезити ділянки Кіблер Вишківського р-ну), Берегівського горбогір'я (мигдалекам'яні ліпарити з мигдалинами, виповненими опалом, на горі Пелікан), у Біганському рудному полі. У корі звітрювання осадово-туфогенних порід поширений опал, який утворює псевдоморфози по дереву. Найчастіше скам'янілі гілки дерев трапляються у дрібноуламкових різновидах туфітів і туфів андезитів, виявлено також численні відбитки листя третинних дерев, деревного насіння тощо. Проте головна маса опалу пов'язана з метасоматичними породами – опалолітами, унгваритами та з навколорудними змінами на поліметалевих і ртутних родовищах. Зокрема, реліктовий опал виявлено в монокварцитах і алунітах, постійно наявний опал у монтморилонізованих породах та в утвореннях, які змінюють на глибині кварц-турмалінові й кварц-топазові мінеральні фації, близькі до пропілітізованих порід (наявний у центральних частинах метаколоїдних виділень нонтроніту й гідрослюди). Опалоліти часто представлені майже чистим опалом, що злегка забруднений рудним пилом. Вони наявні серед аргілізитів верхньої частини Берегівського золото-поліметалевого родовища [2, 4, 13]. Унгварити – це породи, складені з опалу, в який занурені червоподібні виділення нонтроніту. Оскільки ця суміш має зелений колір, її спочатку назвали “хлоропалом”. Згодом виявилось, що в Закарпатті поширені й суміші опалу з гідроксидами заліза, які мають коричневе забарвлення різної тональності й інтенсивності. Рідше трапляються незабарвлені та чорні різновиди. Загалом же унгварити досить поширені в межах Вигорлат-Гутинського пасма – відомо понад 30 їхніх проявів [8]. У районі Великого Шаяну опал зрідка відшукують у порожнинах змінених гранодіорит-порфірів. Він є серед жильних мінералів золотопрояву “Загадочний”, розташованого у південно-західній частині Вишківського рудного поля [19]. Мінерал виявлено на родовищах бурого вугілля й лігніту [23]. Трапляються опалові гейзерити, які утворюють лінзо- і пластовидні тіла шаруватої текстури, підпорядковані осадовим або вулканогенно-осадовим породам. Під дією води й вуглекислоти закарпатський опал руйнується і перетворюється у білу борошністу масу. Особливо швидко це відбувається тоді, коли скупчення опалу потрапляє на денну поверхню або на невелику глибину від неї, причому перетворення відбувається не відразу, а протягом декількох стадій. У результаті утворюється біла борошніста маса, складена з часточок опалу, яка за зовнішнім виглядом нагадує трепел [5, 13].

У Східному Криму численні уламки заміщеної опалом деревини знаходили під час обробки пиляльних вапняків міоцену поблизу селищ Леніно та Багероно [5].

**Форми виділення.** У змінених ультрабазитах УЩ опал разом з халцедоном формує окремі ділянки та жильні тіла. Мінерал утворює жильні виділення шириною до 3–10 см у пеліканізованих гранітоїдах, польові шпати яких заміщені тонким агрегатом каолініту й опалу (пеліканітом). У камерних пегматитах опал з халцедоном у вигляді кірок і нальотів приурочений до різноманітних порожнин, тріщинок і дроблених ділянок або є цементувальною масою брекчій. Форма виділення опалу

змінюється від прожилкової (у графічній зоні) до неправильної (у більш крупнозернистих породах). У порожнинах опал набуває форми вилугуваного кварцу, утворюючи псевдоморфози виповнення. У тріщинах пегматитів наявні опалові прожилки, що проникають і у вмісні граніти; потужність прожилків з опалом коливається від 0,5–2 мм до 3–5 см, середня протяжність – 3–10 см.

У породах Кривбасу переважають суцільні скупчення опалу, склуваті маси, натічні утворення і прожилки різної форми. Іноді опал містить багато “останців” вмісних порід найпримхливіших форм, що створює різнобарвну картину. Органічний опал з діатомітових порід утворює конкреції розміром від 2,5 до 50,0 см.

У відкладах Приазов'я опал наявний у вигляді кірочок, прошарків, лінз. У Катеринівському рудопрояві мінерал утворює прошарки потужністю 1–2 см і більше, заповнює тріщини й порожнини в пісковиках палеогену, що залягають на звітрених докембрійських гранітах. Потужність пластів і лінз опаловмісних пісковиків різна, іноді становить декілька метрів, а глибина залягання досягає 43 м. У приповерхневих ділянках виявили суміш простого і близького до благородного опалу. Мінерал представлений кутастими уламками розміром від дрібних до 10 см за товщини 1,5–2,0 см, а також у вигляді примазок на стінках тріщин потужністю до 1,5 см. У роздувах потужність жил досягає 3 см, тут же наявні зони опалізації пісковіку потужністю до 10 см. Звичайний опал містить різновеликі глобули, розташовані неупорядковано, тоді як взірці опалу, близького до благородного, мають гексагональні або квадратні сітки, які видно під електронним мікроскопом. Характерно, що з глибиною ювелірні якості мінералу посилюються. Цей прояв вважають найліпшим серед відомих проявів опалу в Україні [24, 25].

У крейдових породах Донбасу опал трапляється у вигляді кульок діаметром від 2 до 10 мм. У третинних відкладах він звичайно представлений виділеннями мікроглобулярної будови або плівками навколо уламкових зерен.

В опал-глауконіт-кварцових пісках Поділля наявна борошноподібна жовто-біла або палева маса опалу глобулярної будови. Вміст такої маси в породі змінюється від 10–15 до 30 %. Глобули кремнезему діаметром до 0,006–0,050 мм утворюють окремі агрегати розміром до 0,15 мм. Деякі глобули мають волокнисту будову. У корі звітрювання волинських базальтів опал утворює натічні ниркоподібні й пористі кірки на поверхні карбонатів, селадоніту та інших гіпергенних мінералів або заповнює дрібні щілини в них.

У вулканічних породах Закарпаття опал виповнює мигдалини (іноді їхній вміст становить 20 % від загальної маси породи), формує кірочки на стінках тріщин, на поверхні андезитів і по тріщинах часто виділяється у вигляді краплеподібних прозорих агрегатів (гіаліт). В унгариті мінерал утворює тонкі коломорфні суміші з нонтронітом. Найбільші “кульові” виділення унгаритів у центральній частині складені чистим опалом з характерними кільцевими тріщинами дегідратації й порожнинами. У монтморилонізованих вулканічних породах опал представлений дрібними краплеподібними виділеннями серед дрібнолускуватих агрегатів монтморилоніту, в алунізованих породах – червоподібними виділеннями. У корі звітрювання ефузивних та осадово-туфогенних порід Закарпаття наявні такі форми накопичення опалу: жили, гнізда, кірочки та примазки, дрібні частинки, розсіяні в глинистих відкладах, а також псевдоморфози по дереву. Кірочки і примазки характерні для стінок скельних виступів андезитів та андезитових туфів. Головні форми серед них – це ниркоподібні скупчення, що зливаються в суцільні кірки прозорого без-

барвного опалу; тонкі (до 0,5 мм) гладенькі кірочки білого напівпрозорого опалу; тонкі примазки червоно-коричневого опалу й тонкі тріщинки, виповнені коричневим і безбарвним опалом.

Усі різновиди опалу з пеліканізованих гранітів УЩ дають однотипні дифрактограми з чіткими відображеннями в ділянках 0,432–0,428; 0,414–0,409 і ~0,250 нм, характерними для опалу кристобаліт-тридимітового типу. Цьому не суперечать дані інфрачервоної спектроскопії (максимуми смуг поглинання 475–480, 785–795, 1100–1120 і 1645–1660  $\text{cm}^{-1}$ ). За даними рентгенівського аналізу, головний компонент чорного опалу з камерних пегматитів має структуру, подібну до  $\alpha$ -кристобалітової, проте не тотожну їй. Переродження структури опалу виражається, ймовірно, у переході від аморфного стану до найстійкішої кристалічної модифікації. У структурі опалу перешаровані пакети, близькі за структурою до  $\alpha$ -кристобаліту, з пакетами  $\alpha$ -тридиміту, кількість яких незначна, тому структура загалом розупорядкована доволі слабо і перебуває на одній з останніх стадій переродження у стійку  $\alpha$ -кристобалітову фазу.

**Хімічний склад.** Масовий вміст  $\text{SiO}_2$  в опалі змінюється від 96,16 до 66,88 %,  $\text{H}_2\text{O}$  – від 6,5 до 0,96 %. Мінерал постійно містить у різних кількостях домішки  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , органічної речовини тощо. Зокрема, спектральним аналізом у жильному опалі зі змінених ультрабазитів УЩ виявлено такі домішки: Fe – до перших відсотків; Al і Mg – до десятих часток відсотка; Ca, Sr, Ba, Mn, Ti, Ni, Zr – до сотих; V, Cr, Co, Cu, Zn – тисячні частки відсотка. В опалізованих серпентинітах вміст Al, Fe, Cr, Mn, V, Co, Ca вищий. Цей опал відповідає опалу кристобаліт-тридимітового ряду. В опалі з пеліканізованих гранітів УЩ домішок інших мінеральних фаз не виявлено, а вміст домішкових елементів невисокий: рівня десятих відсотка досягають лише Fe і Al, сотих – Ca, Mg, Sr, Ba, Ti, Zr, тисячних – Mn, V, Ni, Cu, Zn. Дослідження чорного опалу з камерних пегматитів засвідчили, що газ, одержаний під час нагрівання, містить водень, азот, метан, етан та інші вуглеводні, масові числа яких є в межах 60–115. Масове співвідношення C:H в органічній речовині становить 84,7:15,3 (дуже близьке до природних нафт). За результатами ізотопного аналізу,  $\delta\text{C}^{13}$  для неорганічного вуглецю (наявний у вигляді мікровключень карбонатних мінералів) коливається від –2,7 до –1,9 ‰.

У непрозорих різновидах призовського опалу порівняно з прозорими збільшується вміст води, Ca, Mg і зменшується – Li та Si. Вміст  $\text{SiO}_2$  в опалі Катеринівки мінімальний (92,40 %) у взірцях з найбільшою кількістю води і наближається до максимального (95 %) у різновидах з мінімальною її кількістю; масовий вміст  $\text{TiO}_2$  коливається від <0,01 до 0,02 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,40–0,65;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,06–0,70; MnO – <0,01; MgO – 0,01–0,17; CaO – 0,23–0,69;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,01–0,08;  $\text{K}_2\text{O}$  та  $\text{P}_2\text{O}_5$  – <0,01;  $\text{H}_2\text{O}^-$  (втрати маси взірця при 100°C) – 0,80–1,20;  $\text{H}_2\text{O}^+$  (при 1000°C) – 1,50–5,30 %. На домішковому рівні з  $\text{SiO}_2$  прямо корелюють  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO, обернено –  $\text{Na}_2\text{O}$ . За даними газової хроматографії, всі взірці опалу під час нагрівання виділяють, крім води, різну кількість CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$  і  $\text{H}_2$ , вміст яких вищий у звичайному опалі. Співвідношення H:C суттєво зростає в разі переходу від непрозорих до прозорих різновидів. Масовий вміст елементів-домішок такий, ‰: Cu – 0,0001–0,0005; Be – 0,0001–0,0004; Mn, Ti, V, Nb – 0,001; Zr – 0,001–0,005. За даними фазового спектрального аналізу найвірогідніше, що Na, Ca і Al містяться в польовому шпаті (включення в опалі), Cu і Ag – у сульфідній формі, Zr – у цирконі, Ti, Mg, Mn – у міжвузловому просторі кристалічної фази  $\text{SiO}_2$ , ймовірно, кристобаліту, Fe – в ок-

сидній формі у міжвузловому просторі кристалічної фази  $\text{SiO}_2$ .

В опалі з Закарпаття постійні домішки – гідрогетит і гетит, які іноді утворюють дуже тонке перешарування з натічним опалом. Для унгваритів характерна неоднорідність складу. Сама кремениста речовина складена декількома модифікаціями, що помітно в шліфах та імерсійних препаратах, а також підтверджено рентгенівськими дослідженнями. Хімічно найчистіші безбарвні унгварити, проте і в них вміст Fe й Al досягає рівня десятих часток відсотка, Ca, Mg, Ba, Sr, Ti, Zr – сотих, а Mn, V, Zn і Cu – тисячних. У зелених і коричневих різновидах зростає домішка Fe і V, на рівні тисячних і менше є Ni, а в коричневих унгваритах ще збільшується вміст Mn, спорадично фіксують Cr і Co.

За допомогою газово-хроматографічного аналізу вивчали вміст води в різновидах опалу Катеринівського рудопрояву. Звичайний опал містить 1,5–2,5 % води. Її виділення починається за кімнатної температури і регульоване вологістю повітря. З підвищенням температури віддача води посилюється, досягаючи максимуму в інтервалі 100–150°C. У разі нагрівання до 200°C взірці втрачають понад 60 % усієї води. Далі вода монотонно виділяється з підвищенням температури до 800°C, за неї стрибкоподібно знижується, а потім – до 1000°C – плавно досягає деякого мінімуму. Воду, яка виділяється зі звичайного опалу в разі нагрівання понад 200°C, вважають результатом конденсації ОН-груп. Під час нагрівання від 200 до 1000°C цей опал втрачає менше 1 % маси. Прогріті до 1000°C проби візуально нічим не відрізняються від непрогрітих, опал зберігає пористу будову. Благородний опал містить 4,5–9,0 % води. Його дегідратація суттєво відрізняється від дегідратації звичайного опалу. Максимум дегідратації зміщений приблизно на 300°C у високотемпературну ділянку. До 350°C виділяється приблизно 5 % загальної кількості води, взірець укривається концентричними тріщинами і кратероподібними заглибленнями, однак зберігає цілісність. За вибухоподібним виділенням води в разі нагрівання до 415°C відбувається деякий спад між 425 і 450°C, а потім знову її вибухоподібне виділення, вже не таке контрастне на тлі інтенсивної дегідратації. Лише після 700–800°C виділення води різко зменшується. Прогріті до 1000°C взірці кардинально змінюються: вони руйнуються, причому одні зерна розсипаються в пил, інші розтріскуються частково; всі зерна втрачають прозорість, щезає гра кольорів. Зерна перетворюються у склоподібні: в них, як в ампулі, “запаяна” різна кількість білих крейдоподібних включень розміром 10–100 мкм, розташованих за досить регулярною сіткою. Опалу зі змінених ультрабазитів УЩ властивий порівняно високий вміст води, яку вони втрачають під час нагрівання до 300°C (8–9 %) за загальної втрати маси 10–11 % у разі нагрівання до 1000°C. Загальна втрата маси під час нагрівання опалу з пеліканізованих гранітів до 1000°C теж звичайно не перевищує 10 %.

Стан води у звичайному та благородному опалі принципово різний, що доведено за допомогою методу парамагнітного резонансу (ПМР). У звичайному опалі на поверхні сферичних частинок кремнезему і ОН-груп наявні фізично адсорбовані молекули води. У благородному опалі вода розміщена, головню, в закритих порах, утворених вторинними сферами кремнезему, причому це вода рідка, вакуольна (близько 80 % усієї води); вона виділяється під час нагрівання в інтервалі 200–500°C. Вода, яка виділяється при 500–700°C, зберігає ознаки об’ємної рідини, однак час протонної релаксації для неї помітно коротший, ніж час релаксації більш низькотемпературної води. Отже, “високотемпературна” вода міститься всередині вторинних сфер, у дрібніших порах, утворених первинними сферами. Менша кіль-

кість ОН-груп у благородному опалі свідчить про його більшу кристалічність порівняно зі звичайним, у ньому генерується набагато більше парамагнітних центрів, отже, співвідношення кристалічної фази кремнезему до аморфної значно більше, ніж у звичайному. Виконані дослідження привели до висновку, що у вивчених різновидах опалу можна припустити наявність: 1) гідроксильних груп, хімічно зв'язаних з атомами Si; 2) молекул  $H_2O$ , фізично адсорбованих на гідроксильній поверхні; 3) води, сконденсованої у відкритих порах і утримуваної капілярними силами; 4) вільної води, яка механічно утримується в закритих порах, тобто води рідких включень. Звичайний опал – це висушений гідрогель; у ньому переважає капілярна й фізично адсорбована вода. Прозорий опал – це затверділий гідрогель, у ньому переважає кількість води перебуває у включеннях. Вода звичайного опалу не відповідає гіросфері його формування; вода із включень у благородному опалі – це релікти того середовища, в якому утворився опал. Причину різної будови досліджуваних різновидів мінералу, які перебувають поряд, пояснюють способом упаковки елементарних часток кремнезему [9].

**Фізичні властивості.** Забарвлення і прозорість опалу різноманітні, зумовлені, як і інші його фізичні властивості, вмістом води, домішок та механічних включень інших мінералів. Наявні прозорі склоподібні різновиди, напівпрозорі, такі, що просвічують, непрозорі емале- й фарфороподібні (опаловий кахолонг). Опалесценцію помітно лише в різновидах з високою прозорістю. Найбільше поширений безбарвний опал (гіалофан), білий (молочний), жовтий, бурий, рідше наявні кремові, голубуваті, червоні, коричневі, сірі, зелені, чорні (обсидіаноподібні) різновиди, у камерних пегматитах Волині трапляється бурштиновий, медовий опал, у пеліканітизованих гранітах УЩ – золотисто-жовтий, червоно-коричневий, вишнево-червоний, у породах Криворіжжя – блакитний, зеленкувато-сірий, у Приазов'ї – ясно-коричневий, димчастий, рожевий, фіолетовий, смугастий (чергуються безбарвні й різнобарвні шари), у корі звітрювання ефузивних порід Закарпаття – зеленкувато-коричневий, темно-коричневий, темно-зелений. Забарвлення звичайного жильного опалу зі змінених ультрабазитів УЩ зумовлене домішками гідроксидів заліза й нонтроніту. Безбарвний і білий опал містять мало елементів-хромофорів (до 1 %), бурий, жовтий і червоний різновиди містять оксиди й гідроксиди заліза, зелений – дрібнолускуватий залізистий хлорит, сірий – пірит і марказит, темний коричнювато-бурий до чорного – органічну речовину. Блиск опалу змінюється від смоляного у чорних різновидів до скляного у слабкозабарвлених і безбарвних, бурі різновиди часто матові, голубуватий напівпрозорий опал має восковий полиск. Зазначимо ще такі закономірності. У змінених ультрабазитах УЩ більше поширений непрозорий емалеподібний опал, у пеліканітизованих гранітах – незабарвлені різновиди, у породах Закарпаття безбарвний і прозорий опал рідкісний. У Коростенському плутоні кожному пегматитовому тілу притаманна своя гама кольорів опалу (наприклад, лише білий; лише чорний; жовтий і червоний; медовий і жовтий тощо). Опал навколо кварц-мусковіт-флюоритових грейзенів безбарвний або жовтуватий ритмічний, останні його генерації мають буре забарвлення завдяки органічній речовині й піриту. У корі звітрювання волинських базальтів на поверхні звичайного опалу трапляються тонкі плівки опалу, який іризує в оранжево-зелених тонах; під час звітрювання і часткового збезводнення прозорого опалу на його поверхні утворюється плівка сніжно-білого мучного опалу. Благородний опал Тернівського прояву під дією екзогенних чинників стає синюватим, залишаючись вогняним на просвіт.

Усі різновиди закарпатських унгваритів, навіть однорідні за текстурою, завдяки гладкому раковистому злому й сильному скляному або масному блиску виглядають досить ефектно. Однак найцікавішими є рисунчасті унгварити – смугасті й парчеві. Опалові гейзерити мають сірувато-коричневий до чорного колір, нерівний до раковистого злом з сильним блиском, досить крихкі.

У Катеринівському рудопроярві за зовнішнім виглядом виділено п'ять різновидів мінералу: 1) білі непрозорі щільні агрегати з матовим полиском, зовні нагадують кахлонг; 2) білий непрозорий опал, іноді слабо прозорий у тонких відколах, має ясно-блакитний відтінок і скляний блиск; 3) непрозорий опал, забарвлений у бурій колір різних відтінків – від ясно-буро-жовтого до темно-коричнево-бурого, блиск матовий або скляний; 4) напівпрозорі до прозорих різновиди зі скляним блиском і слабкою опалесценцією у жовто-блакитних тонах; 5) прозорий опал з помітно виявленою опалесценцією у жовто-блакитних тонах, близький до благородного. Благородний опал наповнює внутрішню частину роздувів жил, зовнішня їхня частина складена з опалу звичайного. У проміжних різновидах простежують іншу картину: острівки молочно-білого опалу оточені прозорим, і все це облямоване “сорочкою” звичайного опалу. Звичайний опал інтенсивно, як губка, вбирає воду та інші рідини, після чого взірці стають прозорішими. Проміжні різновиди за здатністю сорбувати рідини – це суміш губчастого і щільного, не проникного для рідини опалу. Картина нагадує брекчію: кучасті й округлі блоки щільного опалу з нижчими показниками заломлення перебувають в оточенні губчастої опалової маси. Розмір блоків коливається в межах 10–50 мкм. Така будова найхарактерніша для бурого опалу, в якому, за даними хімічного аналізу, підвищений вміст Fe, а також простежується у білих різновидах. Благородний опал добре просвічує, однак не склоподібний; він непроникний для води або інших рідин. Цей опал найближчий до різновиду благородного опалу, який називають джирозоль. Іноді трапляються відособлені прозорі опалові склоподібного опалу, близького до гіаліту (не іризує) [9, 24].

У камерних пегматитах Волині густина опалу залежить, насамперед, від кількості води, наприклад, густина чорного опалу (вміст летких компонентів 10,0) становить 1,96–1,99 г/см<sup>3</sup>, червоного (6,0) – 2,03, бурого (4,8) – 2,05 г/см<sup>3</sup>. Густина криворізького опалу залежно від домішок змінюється від 1,95 до 2,10 г/см<sup>3</sup>, приазовського – від 1,7 (у непрозорих різновидів) до 3,1 г/см<sup>3</sup> (у прозорих). Густина жильного опалу з кори звірювання в Закарпатті така, г/см<sup>3</sup>: темно-коричневий – 2,013–2,029; темно-зелений – 2,067–2,071; ясно-зелений – 2,052; білий, безбарвний – 1,836. Твердість опалу Приазов'я також змінна і коливається від 4,5 (непрозорий) до 6,0 кГ/мм<sup>2</sup> (прозорий).

**Оптичні властивості** опалу змінюються залежно від кількості в ньому води, а також домішок. Під мікроскопом опал найчастіше ізотропний, хоча подекуди простежується аномальне двозаломлення внаслідок внутрішніх напружень (механічного натягу, який виникає завдяки зменшенню об'єму мінералу під час дегідратації). Багато взірців з камерних пегматитів візуально виглядають мономінеральними, однак під мікроскопом у них помітні виділення сульфідів, сидериту, флюориту, халцедону, рабдофаніту тощо, в чорному опалі виявлено огранені призматичні кристали цинвальдиту, які немов би плавають у навколишній масі опалу. Глобули опалу з опал-глауконіт-кварцових пісків Поділля в імерсійних препаратах бувають оптично ізотропні та анізотропні. У складі унгваритів теж, зазвичай, наявні оптично ізотропна, а також слабо двозаломлювальна опалова речовина. Прозорі й напів-



прозорі зерна опалу Катеринівки під мікроскопом прозорі, деякі мають бурувату облямівку на периферії, колір якої зумовлений включеннями. На безбарвних ділянках трапляються дрібненькі (0,0л мкм) двофазові дископодібні включення, які на 90 % заповнені ізотропною буро-сірою неоднорідною речовиною, показник заломлення якої менший, ніж навколишнього опалу. Округлі відособлення другої фази (до 10 % об'єму включення) мають показник заломлення, який суттєво перевищує опаловий. Нефелометричні вимірювання світлорозсіяння катеринівського опалу засвідчили, що у зрізках нема якихось особливих оптичних ефектів, пов'язаних з кутом падіння світла або кутом спостереження, та їхню оптичну ізотропність. Відсутність значної кількості високо- і низькозаломлювальних мінеральних і газорідних включень, а також систем мікротріщин є ознакою високої чистоти й високої декоративності опалу з низьким значенням коефіцієнта світлорозсіяння. На Катеринівському рудопрояві наявний високоякісніший опал, ніж на родовищі Глухівці (Козятинський район), де опал часто містить включення глинистих мінералів.

У білих матових зернах опалу показник заломлення коливається у значних межах, тоді як у зернах з чітким скляним блиском він стабільніший. Загалом показник заломлення ізотропної опалової речовини змінюється від 1,400 до 1,490, менші значення (1,330–1,350) характерні для безбарвного ізотропного опалу з кори звітрювання у Закарпатті, максимальні значення теж зафіксовані у Закарпатті (темно-коричневий – 1,490–1,504; темно-зелений – 1,500–1,530), а також в оптично анізотропних глобулах опалу з опал-глауконіт-кварцових пісків Поділля ( $n \approx 1,525$ ). Простежено таку загальну закономірність: чим менший вміст води в опалі, тим більший його показник заломлення. Часто (однак не завжди) зі збільшенням густини забарвлення показник заломлення опалу зменшується. Різновиди однакового кольору з різних геологічних утворень найчастіше мають різний показник заломлення, наприклад, для бурого опалу з базальтів Янової Долини  $n = 1,435 \pm 0,002$ , з коростенських пегматитів – 1,458, з Катеринівського рудопрояву – 1,464–1,477. Показник заломлення благородного опалу становить 1,450–1,455 (нижчий від звичайного). Двозаломлювальна опалова речовина унгваритів має світлозаломлення в інтервалі 1,420–1,455 (у забарвлених різновидах і вище).

**Асоціації.** У камерних пегматитах Волині відкладання опалу супроводжувалось утворенням інших мінералів – флюориту, хлориту, гематиту, піриту, марказиту, рабдофаніту, які або розміщені в опалі, або перешаровані з ним. У Криворіжжі та Приазов'ї опал теж асоціює з халцедоном, який утворює навколо опалу облямівки, рідше – з кварцом. У деяких порожнинах стінки вистелені тонким шаром опалу, який далі змінюється халцедоном, а потім – дрібнозернистим кварцом. У зоні окиснення залізних руд і в бурозалізникових рудах опал асоціює з гідроксидами заліза й мартитом. У магнетитових роговиках і сланцях Інгuleцького гірничо-збагачувального комбінату характерна асоціація опал + халцедон + селадоніт. У корі звітрювання волинських базальтів опал асоціює з карбонатами, селадонітом, палигорськітом, гідроксидами заліза та іншими гіпергенними мінералами. Опал слугує цементом у виділеннях цих мінералів, ним пронизані селадоніт і палигорськіт. У силікатно-карбонатних манганових рудах Українських Карпат характерний парагенезис родохрозит + опал + халцедон + глинисті мінерали. У корі звітрювання ефузивних порід Закарпаття мінерал асоціює з гідроксидами заліза.

**Генезис.** Опал утворюється переважно на завершальних етапах поствулканічних процесів, з гарячих водних розчинів та внаслідок життєдіяльності організмів.

Пегматитову природу опалу в камерних пегматитах Волині підтверджують такі факти: локалізація мінералу в пегматитах і біляпегматитових тріщинах; відсутність у пегматитах ознак звітрювання, з якими може бути пов'язане опалоутворення; з опалом кристалізується пегматитова асоціація мінералів; характер забарвлення опалу (кожному пегматитовому тілу притаманна своя кольорова гама, що зумовлене індивідуальними особливостями пегматитових тіл). Результати ізотопного аналізу вуглецю свідчать про магматичну природу органічної речовини в чорному опалі. Одним із можливих способів її утворення може бути поява в процесі коагуляції кремнезему з колоїдних розчинів унаслідок реакційної взаємодії  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2$  за наявності  $\text{Fe}^{2+}$ , яке ввійшло в інші мінерали і відіграло роль каталізатора.

Досить поширений опал гідротермального походження. Формування опалу в пеліканізованих гранітах УЩ пояснюють двояко: або гідротермальною діяльністю в зонах глибинних розломів (характерна переважна приуроченість опалу до зон підвищеної тріщинуватості пеліканізованих гранітів), або пов'язують з утворенням первинних каолінів і пеліканізацією гранітоїдів у гіпергенних умовах. Під дією лужних кремнієвмісних гідротерм утворювався опал у мікротріщинах на ділянках поширення кварц-мусковіт-флюоритових грейзенів у пегматитах. Частина опалу в корі звітрювання базальтів Західної Волині сформувалася під час завершальної, низькотемпературної стадії гідротермального процесу (у свіжих базальтах Янкової Долини виявлено прожилки рожевого халцедону, які під мікроскопом виглядають як брекчія, складена з гострокутних уламків бурого опалу, зцементованих безбарвним халцедоном, халцедон також розпадає уламки опалу). Опалоліти Закарпаття утворювались під час одного з етапів магматизму внаслідок післявулканічної газопо-гідротермальної та власне гідротермальної діяльності. Текстурно-структурна і речовинна неоднорідність унгваритів відображає особливості середовища їхнього виникнення, які виявляються у строкатості фізико-хімічних умов. Виділення унгваритів найхарактерніші для агломератових туфів біляжерлової фації. Найбагатші на унгварити верхні частини андезитової товщі, де породи інтенсивно змінені (нонтронізація, лімонізація, опалізація). Тому обґрунтовують уявлення про походження унгваритів унаслідок метасоматозу вулканітів під впливом легких компонентів, які виділялись під час їхнього застигання. Опалові гейзерити Закарпаття відкладались в озерах у зв'язку з привнесенням гідротермального кремнезему.

Опал у вугіллі Західного Донбасу є аутигенним мінералом, має хімічне походження, утворився на місці формування вугілля шляхом випадіння з колоїдного розчину. Один із можливих механізмів утворення благородного опалу Катеринівського рудопрояву – витіснення (під час тверднення колоїду і формування глобул) домішок з міжглобулярного простору та заміщення їх молекулами води, однак масштаби прояву такого механізму остаточно не з'ясовані. Туфові прояви опалу в Закарпатті формувалися під час вугленакопичення у розташованих неподалік від активних вулканів заболочених водоймах. Вони зумовлені діагенетичною зміною попелового матеріалу, який, потрапляючи у збагачені органікою мули, зазнавав вилуговування й гелефікації з розвитком опалу як головного компонента вулканогенно-осадової породи, що утворювалась, а також привнесенням кремнезему гідротермами й поверхневими водами, які вилугоували вулканіти на водозборах. Деревний опал з осадових порід утворювався під час діагенетичного перерозподілу в мулах, імовірно, органогенного кремнезему. В одних випадках відбувалась цемент-

тація осадів, які вміщували деревину, в інших відкладання кремнезему явно приурочене лише до фрагментів рослин, і тоді псевдоморфози містяться в нецементованих пісках або нескременілих карбонатних породах. Опал в осадових утвореннях Прикарпаття має здебільшого катагенетичне походження.

У корі звітрювання базальтів Західної Волині опал утворювався з кремнезему, виділеного під час розкладання первинних алюмосилікатів, головно плагіоклазів. У породах менілітової серії опал теж виникав під час руйнування глинистих та інших силікатних мінералів в умовах, близьких до земної поверхні, або на глибині на контактах бітумінозних аргілітів з породами, в яких циркулюють збагачені киснем підземні води. Ці води окиснювали пірит і органічну речовину, створюючи кисле середовище (рН = 2–4). Виділений кремнезем залишався в породах, сприяючи їхньому вторинному скременінню. Частина кремнезему розкристалізувалась (особливо на глибині), а решта наявна в породі у вигляді опалових грудочок.

**Практичне використання.** За даними О.Є. Фермана, український опал ще в середньовіччя використовували для виготовлення ювелірних виробів. Однак суттєвим недоліком більшості каменів з пеліканізованих гранітів УЩ є сильна тріщинуватість, яка практично не дає змоги їх огранювати, та іноді ця властивість створює декоративний ефект своєрідної іризації, зумовленої густою мережею тонких тріщин (наприклад, у золотисто-жовтому склоподібному опалі околиць Немиринців). Найменше тріщинуваті емалеподібні різновиди.

Від інших різновидів опалу України благородний опал Катеринівського рудопрояву відрізняється підвищеним вмістом “високотемпературної” води і досить низькою кількістю “низькотемпературної” (сорбованої) води, достатньо високою твердістю (близько 6 за шкалою Мооса), найвищою кристалічністю  $\alpha$ -кристобалітової фази, високою прозорістю й одночасно низьким коефіцієнтом світлорозсіяння, помітним ефектом опалесценції. Все це характеризує зазначений опал як якісну ювелірну сировину. Важливі й такі дані: найрівномірніше розсіяння світла всередині взірця опалу реалізоване в разі товщини пластинки 15–20 мм, в якій найліпше виявиться ефект опалесценції. Звідси випливає практична рекомендація виробникам ювелірних виробів. Фахівці ДП “Кварцсамоцвіти” виготовили з благородного опалу с. Катеринівки пробну партію кабошонів і високо оцінили ювелірне значення каменю. Все це засвідчує необхідність якнайшвидшого промислового освоєння Катеринівського опалопрояву.

Закарпатські унгварити – дуже гарний колекційний і виробний матеріал. Під час розробки андезитових кар’єрів унгваритизовані вулканіти як некондиційна сировина надходять у відвали, де опалові утворення розубожуються, руйнуються завдяки механічному впливові та звітрюванню. Доцільність попутного видобування унгваритів у діючих андезитових кар’єрах зумовлена тим, що унгварити становлять науковий інтерес, будучи своєрідними виділеннями кремнезему, типовими для Закарпатської опалоносної провінції.

1. Бушак С.М. Вопросы минералогии углей Павлоградско-Петропавловского района Западного Донбасса // Актуальные вопросы региональной геологии. К., 1981. С. 22–27 (Препринт 81-33).
2. Быков А.Д. Опал и вулканическое стекло Беганьского рудного поля // Минерал. сб. 1982. № 36. Вып. 1. С. 59–64.

3. *Гаев И.В., Гаева Н.М.* Черный опал из Каменного Бугра в районе Славгорода Днепропетровской области // Вопросы региональной и генетической минералогии. К., 1977. С. 115–119.
4. *Коптюх Ю.М.* Золото-полиметаллическое оруденение Внутрикрупатского вулканического пояса. К., 1992.
5. *Космачев В.Г.* Осадочный опал Украины // Минерал. журн. 1988. Т. 10. № 4. С. 104.
6. *Космачев В.Г.* Минералы кремнезема измененных ультрабазитов Украинского щита // Минерал. журн. 1993. Т. 15. № 2. С. 104.
7. *Космачев В.Г.* Опал пеликанитизированных гранитоидов Украинского щита // Минерал. журн. 1993. Т. 15. № 3. С. 104.
8. *Космачев В.Г.* Унгвариты // Минерал. журн. 1995. Т. 17. № 3. С. 104.
9. *Кульчицкая А.А., Возняк Д.К., Калиниченко А.М., Павлишин В.И.* О природе воды в опале // Минерал. журн. 1995. Т. 17. № 1. С. 56–70.
10. *Лазаренко С.К., Сребродольский Б.И.* Мінералогія Поділля. Львів, 1969.
11. *Лазаренко С.К., Габінет М.П., Сливко О.П.* Мінералогія осадочних утворень Прикарпаття. Львів, 1962.
12. *Лазаренко Е.К., Панов Б.С., Груба В.И.* Минералогия Донецкого бассейна. Ч. 2. К., 1975.
13. *Лазаренко Е.К., Лазаренко Э.А., Барышников Э.К., Малыгина О.А.* Минералогия Закарпатья. Львов, 1963.
14. *Лазаренко Е.К., Павлишин В.И., Латыш В.Т., Сорокин Ю.Г.* Минералогия и генезис камерных пегматитов Волыни. Львов, 1973.
15. *Лазаренко Е.К., Гершойг Ю.Г., Бучинская Н.И.* и др. Минералогия Криворожского бассейна. К., 1977.
16. *Лазаренко Е.К., Лавриненко Л.Ф., Бучинская Н.И.* и др. Минералогия Приазовья. К., 1980.
17. *Лазаренко С.К., Матковський О.І., Винар О.М.* та ін. Мінералогія вивержених комплексів Західної Волині. Львів, 1960.
18. Марганцевые руды Украины / Отв. ред. Е.Ф. Шнюков. К., 1993.
19. *Матковський О.І.* Родовища та рудопрояви золота Українських Карпат // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. 1992. Вип. 11. С. 96–120.
20. *Матковський О., Сливко Є.* Схематична карта мінералогічного районування України // Мінералогія: історія, теорія і практика: Тези міжнар. наук. конф., присвяч. 140-річчю каф. мінералогії Львів. ун-ту. Львів–Шацьк, 3–6 вересня 2004 р. Львів, 2004. С. 38–41.
21. *Матковський О.І., Хмелівський В.О., Балабасва С.Л.* Марганцево-карбонатна мінералізація Українських Карпат // Геол.-мінерал. вісн. 1999. № 1. С. 7–13.
22. Мінералоутворюючі флюїди та парагенезиси мінералів пегматитів заноришевого типу України (рідкі включення, термобарометрія, геохімія) / Відп. ред. В.А. Калюжний. К., 1971.
23. *Мороз С.А.* Об образовании опала в бурых углях Закарпатской угленосной площади // Минерал. сб. 1965. № 19. Вып. 3. С. 385–388.
24. *Павлишин В.И., Власюк С.А., Индутный В.В.* и др. Опал Екатериновского рудопроявления (Приазовье) // Минерал. журн. 1993. Т. 15. № 4. С. 5–16.
25. *Панов Б.С., Косик О.А.* Опал Австралии и Украины // Мінерал. зб. 1999. № 49. Вип. 2. С. 97–105.

26. Сливко М.М., Павлишин В.И. О находке в пегматитах Волыни опалов, содержащих органическое вещество // Минерал. сб. 1967. № 21. Вып. 1. С. 100–104.
27. Яценко Г.М. Кольорове розмаїття Українських надр // Мін. ресурси України. 1996. № 4. С. 39.
28. Яценко Г.М., Гурский Д.С., Сливко Е.М. и др. Алмазоносные формации и структуры юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы. Опыт минерогенеза алмаза. К., 2002.

## OPAL IN GEOLOGICAL FORMATIONS OF UKRAINE

**Ye. Slyvko**

*Ivan Franko National University of Lviv  
Hrushevskogo St. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine  
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

Information about distribution of opal mineralization and various features of opal in geological formations of Ukraine has been resulted. Mineral has been found out almost in all mineralogical provinces and rocks of different age. The physical, chemical properties of opal and its genetic features have been shortly analysed.

*Key words:* opal, forms of segregations, physical and chemical properties, genesis, Ukraine.

Стаття надійшла до редколегії 16.05.2006

Прийнята до друку 01.11.2006