

УДК 549(477)

ОСОБЛИВОСТІ МОРФОЛОГІЇ ТА ВНУТРІШНЬОЇ БУДОВИ МІКРОСФЕРУЛ УКРАЇНИ

С. Бекеша, І. Яценко

*Львівський національний університет імені Івана Франка
79005 м. Львів, вул. Грушевського, 4
E-mail: Yatsenko1941@list.ru*

Наведено результати вивчення специфічних рудних і скляних утворень (сферул), знайдених у різноманітних товщах на теренах України. Виконано їхню типізацію за морфологією та внутрішньою будовою. Доведено можливість утворення рудних сферул за відновлювальних умов, що найбільше характерно для експлозивних процесів глибинного походження.

Ключові слова: сферула, морфологія, внутрішня будова, магнетит, скло, техногенний матеріал, відновлювальні умови, експлозивні процеси, Україна.

У вулканогенних та різновікових осадових товщах земної кори, у вибухових кільцевих структурах і кімберлітових трубках трапляються специфічні мінеральні утворення – сферули, складені головно рудними мінералами і склом. Їх можна знайти у сучасних ґрунтах, на поверхні землі та в докембрійських комплексах, де вони представлені здебільшого у зміненому вигляді (наприклад, пояс Барбертон у ПАР). У світовій літературі найбільше уваги приділяють сферулам з океанічних відкладів палеогенового віку, льодовиків Антарктики і Гренландії [5, 8], перехідного шару крейда–палеоген Америки та Європи. Вони відомі в науковій літературі як мікротектити, мікрометеорити, рудні чи силікатні кульки, магнітні кульки, хондрули і є досить дивовижним з геологічного погляду об'єктом. Очевидно те, що вони утворювались за нестандартних високопараметричних фізико-хімічних умов, які важко вписуються у межі класичних геологічних процесів.

Усі сферули за складом можна розділити на дві головні групи: рудні (*I*-тип у світовій класифікації) та силікатні (*G*-тип [8]). Рудні сферули у класичному варіанті складаються з металевого, переважно залізного, ядра в оболонці, яка представлена магнетитом, часто наявний вюстит (іоцит), трапляються когеніт, графіт; міжзерновий простір вповнений залишковим склом [4]. Силікатні сферули можуть складатися повністю зі скла, містити мікроліти, скелетні та снопоподібні кристали силікатів – олівіну, піроксену, плагіоклазу, гранату, складних оксидів – хроміту, ульвошпінелі, магнетиту, шорломіту, ільменіту, армоколліту [8]. Окремо зазначимо про рідкісніші екзотичні сферули, що складаються зі сплавів кольорових і благородних металів, феросиліцію, сульфідів, карбонату кальцію. У більшості випадків вони є тілами сферичної або близької до сферичної форми діаметром від 2 мм і менше.

Щодо походження природних сферул, то сьогодні є три основні гіпотези: космогенна (акреція Землею космічної речовини), імпактна (плавлення земної речовини внаслідок

потужних вибухів, створених імпакторами) і телурична, а саме – ендегенна. Наголосимо, що в історії вивчення цих об'єктів спостережено певну асиметрію. Початково описом сферул у певних відкладах займалися геологи, тоді як цілеспрямованого дослідження їх не вели. З розвитком аналітичних методів точних геохімічних досліджень сферули стали об'єктом спостереження для спеціалістів з космохімії. Головний методологічний інструмент цих досліджень – порівняння складу сферул зі складом хондритів та інших типів метеоритів, проте отримані результати важко назвати переконливими. Певні суперечності виникли й у разі використання прецизійних методів дослідження, зокрема, геохімії ізотопів. З іншого боку, для фахівців у галузі шукання імпактних структур наявність сферул поряд зі стрес-метаморфічними структурами стали чи не найголовнішим доказом їхнього визначення. Водночас зазначимо, що роль ендегенних процесів як можливих чинників у випадку утворення сферул, принаймні, сильно недооцінюють [3, 7].

Нижче наведено результати вивчення сферул, вилучених з різноманітного матеріалу, зібраного на теренах України. Частину проб отримано від геологічних виробничих і наукових організацій (експедиція № 37 КП Кіровгеологія, Приазовська КГП, УкрДГРІ та ін.), частина – із власного колекційного фонду; додатково відібрано й досліджено близько 150 проб. Усі проби можна розділити на дві категорії: шліхові, які взяті з водних потоків, і штучні, відібрані з конкретних верств. У першому випадку ми можемо тільки прогнозувати джерело знесення. Дуже багатими на сферули виявилися руслові відклади середньої і верхньої течії Дністра. Опробувано весь розріз, джерело виявити не вдалося. Поодинокі знахідки сферул зафіксовані в алювіальних відкладах р. Південний Буг у районі м. Гайворон та с. Мігея, а також у руслових відкладах р. Горинь. У шліхових пробах у межах Львівської обл. спостережено достатню кількість природних сферул, проте високий вміст техногенного матеріалу заважає коректно оцінити ситуацію.

Інформативнішими в науковому сенсі є сферули, виділені з корінних верств; у цьому випадку ми можемо оперувати даними про вік, оцінювати зв'язок з певними структурами, виділяти літологічні та мінералогічні асоціації. Щодо належності до конкретних геологічних структур найцікавішим є кластитовий (уламковий) матеріал флюїдизатно-експлозивних структур Приазовського (трубка Мрія) та Кіровоградського блоків (Кіровоградсько-Смілянське поле, Рівненське поле, Щорсівська ділянка) Українського щита. Для порівняння досліджено металеві сферули з юрських верств Якутської алмазоносною провінції (район р. Нижня Куанапка, колекція З. Бартошинського).

У районі с. Казавчин вивчено дуже цікавий комплекс пірогенного матеріалу зі сферулами в молодих неоген-четвертинних червоноколірних глинах. На Волині специфічні сферули виявлено у туфогравелітах перекальської товщі волинської серії нижнього венду. В Овруцькому районі в неогенових глинах знайдено характерний для вибухових структур пірогенний комплекс зі сферулами різних типів, шлакоподібними уламками, глибинною мінеральною асоціацією і самородними металами. Силікатні, рудні сферули та шлакоподібні уламки виділено з рудного концентрату Іллінецького титан-цирконієвого родовища. В Кримському регіоні магнітні сферули визначені у неогенових туфогенних відкладах району м. Севастополь, є окремі знахідки в майкопській серії, у чокрацькому горизонті. У Карпатському регіоні верстви, що містять сферули, перебудурені свердловинами Бориня-3, Семаківська-1, Грудівська. У Львівській обл. сферули та уламки скла зафіксовані у четвертинних відкладах, винятком є глини прилуцького горизонту з великим вмістом різноманітного пірогенного матеріалу. Опрацьовано проби верх-

ньої частини маастрихтських відкладів (м. Львів), які представлені глинистими мергелями, у яких відшукали дрібні сферули, а також частинки самородного металу.

Зазначимо, що практично в усіх пробах наявність сферул супроводжується загалом помітним збільшенням складової магнітної фракції, наявністю глибинних (високопараметричних) мінералів – муасаніту, олівіну, гранату, піроксенів, кіаніту, ставроліту, перовськіту, хроміту, ільменіту, циркону, самородних металів. Зафіксовано низку сферул перехідного (гібридного) типу, де є одночасно дві фази: окисно-металева і силікатна. Морфологія та розмір зерен, зазвичай, контрастують із загальним характером породи, наприклад, з одного боку, – тонкодисперсна глиниста основна маса з незначною складовою дрібнозернистого обкатаного кварцу, з іншого, – зерна характерної мінеральної асоціації без слідів механогенної обробки – діопсиду, гранату, муасаніту, олівіну. Іноді в подібних відкладах зерна гранату зовнішньо обкатані, їм властива поверхня з проявами хімічного травлення, що свідчить про постмагматичну переробку. Це явище є типовим для мінералів кімберлітових структур. За рідкісними винятками, у відкладах, що містять сферули, практично нема фауністичних решток.

Для порівняння вивчали різноманітний матеріал техногенного походження (газове і термітне зварювання, вугільні шлаки, шлам процесу точіння металу). Експериментально отримано рудні сферули за допомогою електричної дуги в звичайних і відновлювальних умовах; як електрод і джерело матеріалу використовували різні метали, магнетит, пірит.

Морфологія досліджених сферул має такі особливості.

Сферична форма (рис. 1, а) є принциповою для всіх типів сферул, саме вона допомагає зовні відрізнити їх від інших мінеральних утворень у пробах. Ступінь сферичності природних сферул іноді настільки високий, що їх майже неможливо утримати на рівній поверхні, вони здатні котитися за найменших кутів нахилу поверхні. У техногенних і проблемних за походженням сферул із четвертинних відкладів ступінь сферичності помітно менший, такого явища не спостерігають.

Полісферичні агрегати – форма з'єднання декількох сфер (див. рис. 1, б-д), може виникати у різних кількісних та розмірних співвідношеннях. Характерно, що це явище не простежується в сферах, які отримані внаслідок дії електричної дуги на різні матеріали. Ймовірно, за природних умов середовище було неоднорідним; можливо, явища турбуленції сприяли зіткненню окремих частинок у процесі їхнього застигання, або застигання було більш пролонгованим. Полісферичні агрегати типу, що показаний на рис. 1, д, є унікальними, знайденими тільки в пробах із неогенових(?) глин району с. Білокоровичі на Житомирщині.

Еліпсоїд обертання є, по суті, наслідком деформації сферичної форми, що, найімовірніше, трапляється в разі зміни термодинамічних параметрів за умови неповного застигання речовини (див. рис. 1, е). Форма притаманна природним скляним сферам, менше – рудним. Для рудних сферул ще можливий варіант еліпсоїда з провалом у центральній частині (можливо, як наслідок контракції речовини) (див. рис. 1, ж).

Краплеподібна форма (drop tears) трапляється в природних і експериментальних сферах (див. рис. 1, з, і). Очевидно, вона має два можливі механізми утворення: перший – це аеродинамічне оформлення пластичної речовини, другий – розтягування первинної сфери на дві менші, спричинене зміною термодинамічних параметрів системи. Спочатку утворюється гантелеподібна форма, потім формуються дві краплі з витягнутими хвостами. Цікаво, що краплеподібна форма для рудних сферул набуває саме таких рис, як показано у розрізі на рис. 1, і, тут не знайдено форми з подовгастим хвостом.

Гантелеподібна форма, по суті, є перехідною формою перетворення сферичної на дві краплеподібні в процесі розтягування (див. рис. 1, *к*); унаслідок цього може виникати веретеноподібна форма. Обидві форми притаманні природним силікатним сферулам, хоча подібні траплялись і серед матеріалу із зони техногенезу, де їхнє походження з'ясувати важко. Зазначимо, що й тектити бувають гантелеподібної та краплеподібної форми та достатньо великого розміру. Дрібні знайдено в Карській та Іллінецькій астроблемах, у кімберлітових структурах Якутії [1, 2].

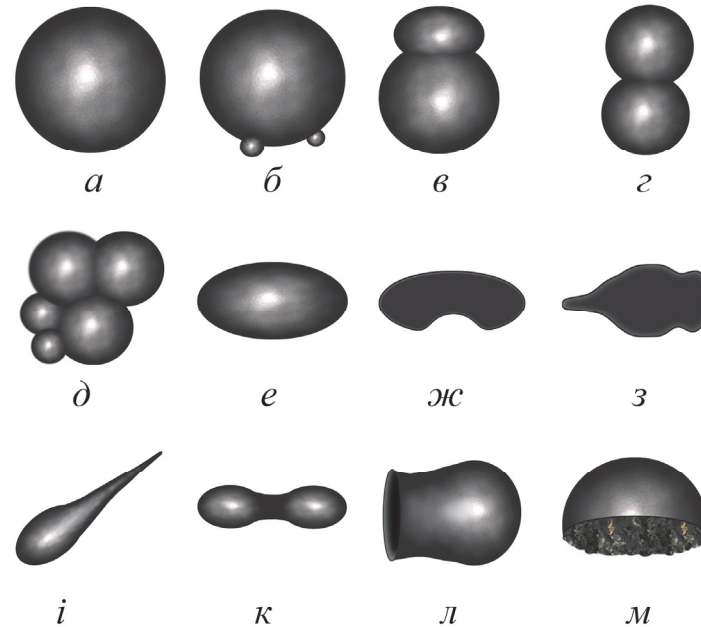


Рис. 1. Морфологічні особливості сферул.

Шоломоподібна форма має характерний отвір, вона зумовлена дією одночасно аеродинамічних сил і дегазацією речовини (див. рис. 1, *л*). Трапляється досить зрідка в природних рудних сферулах.

Півсфера з поверхнею причіплення вирізняється нерівним рельєфом, інколи з залишками сторонньої речовини (див. рис. 1, *м*). Подекуди вона виглядає як форма удару в іншу тверду поверхню; утворена штучно в експериментальних сферулах, трапляється й у природних.

Кутасті кірочки, пластинки безпосередньо пов'язані з рудними сферулами, часто мають слабо опуклу форму; утворюються, імовірно, внаслідок лущення з більших часток металу. У випадку, коли сферул мало, це є важливою діагностичною ознакою.

Рудні циліндри – загадкова форма, яку важко пов'язати зі сферулами, однак безумовно циліндричні частки спостерігають у пробах разом. За складом можуть бути магнетитовими, сульфідними, не характерні для техногенних і експериментальних взірців. Можливо, ця форма пов'язана зі здатністю металу у природі за певних умов набувати форми циліндра, прута і навіть дроту.

Зазначимо, що описані вище основні форми виділення сферул не відображають усе різноманіття їхніх морфологічних особливостей.

Внутрішню будову сферул вивчали у полірованих шліфах та аншліфах. Для виготовлення препаратів взірці сферул розміщували на скляній поверхні, формували в епоксидну смолу і деаерували у вакуумі.

Рудні сферули. Внутрішня будова таких утворень є двошаровою – внутрішнє металеве ядро і зовнішня оксидна оболонка (рис. 2, *a-i*). У випадку, якщо ядро складене головню залізом, оболонка представлена магнетитом. Оксидна оболонка – це, по суті, полікомпонентний мінеральний агрегат, у складі якого, крім магнетиту, є когеніт, іюцит, гематит, мартит, інші складні оксиди і скло. Різноманіття внутрішніх структур рудних сферул зумовлене різним співвідношенням складових – ядра, оболонки і додатково різною кількістю і розміром порожнин (бульбашок). Для природних і експериментально отриманих сферул характерні різновиди з різним ступенем окиснення: від чисто металевих до суцільно магнетитових форм. Відтворюючи процес формування сферул за лабораторних умов, ми простежили, що більшість сферул, отриманих в окиснювальному середовищі, є магнетитовими, у відновлювальному – металевими, що цілком логічно.

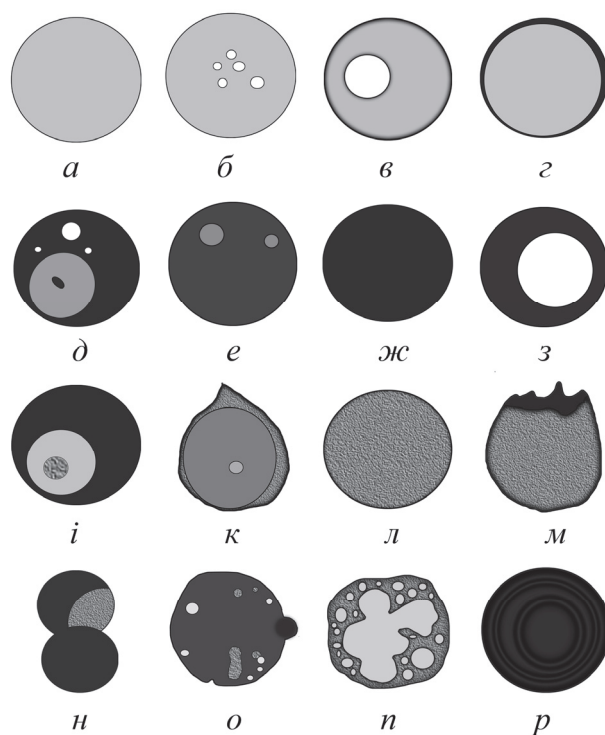


Рис. 2. Внутрішня будова сферул.

З огляду на це можна зробити досить обґрунтоване припущення, що первинним матеріалом у разі утворення сферул був розплавлений метал. Утворення чисто металевих або частково окиснених сферул могло відбуватися за умови, що процес, принаймні, починався у відновлювальному середовищі. Таким умовам якнайліпше відповідають флюїдизатні експлозивні процеси мантійного походження. Це підтверджене і фактично – у взірцях сферул з Якутської провінції дуже висока складова частка чистого металу, у трубці Мрія (Західне Приазов'я) трапляються сульфідні сферули, частки неокиснених

нестійких до кисню металів, в ігнімбритах описані металеві сферули, утворення яких пов'язують з дією відновлювальних мантійних флюїдів. З іншого боку, важко загалом перенести цей механізм на процеси, що відбуваються за умов імпактного удару, або пристосувати явища конденсації металу з випареного стану. Складно пояснити утворення металевих сферул і згоранням космічних часток в атмосфері Землі. Тут маємо дуже високу активність кисню, саме тертя часток об атмосферу і спричиняє нагрівання речовини. У випадку порівняно невеликого розміру часток метал повинен повністю згорати.

Двофазові, або гібридні, сферули містять одночасно силікатну і рудну фази. Співвідношення фаз може бути різноманітним (див. рис. 2, *i, k, m, n, o*). Окрім показаних на рисунку, сюди можна зачислити ще декілька варіантів. Рудні сферули можуть міститись у більших за розміром уламках скла, бути вкриті краплинами скла, і навпаки, скляні – вкриті частинками або тонкою плівкою рудного матеріалу. Спостерігали скляні сферули, які пронизані пилом з дрібних металевих кульок. Подібне явище відоме у скляному виробництві й виникає внаслідок метастабільної ліквідації. Тут доречно зазначити, що і рудні сферули містять залишкове скло в інтерстиціях між дендритовими кристалами оксидів.

Силікатні сферули зазвичай складаються зі скла (див. рис. 2, *л*), можуть містити різну кількість бульбашок різноманітного об'єму. Бульбашки бувають заповнені рідиною з газом (іноді під тиском нижче від атмосферного). Природні скляні сферули часто складені з прозорого скла із жовтуватим, зеленкуватим чи бурим відтінком різної інтенсивності. За сильної густини барвника вони стають непрозорими. Специфічні непрозорі сферули у великій кількості знайдені у кластитових фаціях трубки Мрія. Вони складаються з непрозорої склоподібної речовини; більші за розміром набувають форми пухлястих шлакоподібних уламків (див. рис. 2, *o*). З літературних джерел відомо, що силікатні сферули можуть містити мікроліти, а також голчасті, скелетні, снопоподібні кристали олівіну, гранату, піроксену, кристобаліту, перовськіту, шпінелі, хроміту [5, 6]. Характерні силікатні сферули спостерігають у вугільних шлаках та попелі вогнищ; порівняно з природними вони виглядають недоплавленими. Складені зі склоподібного матеріалу, колір від бурого до білого, непрозорі, мають збільшену пористість (див. рис. 2, *n*).

Сульфідні сферули зовні важко відрізнити від рудних магнетитових. Їхня форма сферична або близька до неї; незначна кількість внутрішніх порожнин має неправильну форму.

Сферичні агрегати осадово-хемогенного, біогенного генезису – це різноманітні за складом утворення. За внутрішньою будовою їх легко відрізнити від “високотемпературних” сферул: зовсім нема бульбашок і специфічних морфологічних ознак, окрім сферичності, наявні характерні внутрішні структури – радіально-променева, концентрично-зональна, як, наприклад, у рудних агрегатів з Нікопольського родовища (див. рис. 2, *p*). Близьку до сферичної форму мають пізоліти розміром від 10 мм і менше, знайдені у породах Зеленогайської кільцевої структури (Кіровоградський блок Українського щита); вони складені бурими оксидами і мають концентрично-зональну будову. Їхнє походження проблематичне, хоча структурні ознаки свідчать про осадово-хемогенне.

Отже, природні сферули, що утворилися внаслідок швидкого застигання розплавленої речовини, мають специфічні особливості зовнішньої і внутрішньої будови, що відрізняє їх від інших сферичних утворень.

Загалом навіть за зовнішніми ознаками техногенні сферули, пов'язані зі згоранням вугілля й деревини, впевнено відрізняються від природних. Техногенні сферули, які пов'язані з обробкою металу, тобто зварювальними, шліфувальними роботами, майже ідентичні природним.

Рудні і силікатні сферули тісно пов'язані між собою, мають різного типу перехідні форми, очевидним є їхній спільний генезис. Проблема полягає в тому, що в разі незначного вмісту сферул у пробах рудні різновиди легко сепаруються завдяки магнітним властивостям; немагнітні силікатні в такому випадку майже неможливо відокремити від основної маси.

Експериментально з'ясовано, що рудні сферули зі значним вмістом металевої частини здатні утворюватися за відновлювальних умов, що є найбільш характерним для експлозивних процесів глибинного походження. Цей факт підтверджений результатами дослідження кульок із порід вибухових структур Якутської кимберлітової провінції, Кіровоградського та Приазовського блоків Українського щита.

Рудні і силікатні сферули в породах практично завжди асоціюють з групою глибинних мінералів, які характерні для ультраосновних, лужно-ультраосновних і лужних порід.

У верствах, що містять сферули та інший пірогенний матеріал, зазвичай, нема фауністичних решток.

Сферули і споріднені з ними утворення типу шлаків, скляних уламків тощо можна вважати діагностичною літологічною ознакою для виділення туфоїдних верств, а також розшуковим критерієм для структур вибухового типу. Важливо, що візуальна діагностика сферул у пробах достатньо однозначна, на відміну від мінералів, де часто потрібні додаткові методи визначення. Наприклад, наявність великої кількості сферул, шлаків і відповідних мінералів у рудних покладах Іллінецького титан-цирконієвого родовища є досить вагомою підставою, щоб уважати первинним джерелом рудного компонента саме матеріал вибухових структур.

-
1. *Братусь М.Д., Татаринцев В.И., Сахно Б.Э.* Состав флюидных включений в закаленных частицах из взрывных кольцевых структур и кимберлитовых трубок // *Геохимия*. 1987. № 11. С. 1563–1568.
 2. *Маршинцев В.К.* Природа сфероидных образований в кимберлитах. Следы космических воздействий на Землю. Новосибирск: Наука, 1990. С. 45–57.
 3. *Песков Е.Г.* Геологические проявления холодной дегазации Земли. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. 279 с.
 4. *Сандимирова Е.И., Главатских С.Ф., Рычагов С.Н.* Магнитные сферулы из вулканогенных пород Курильских островов и Южной Камчатки // *Вестник КРАУНЦ наук о Земле*. 2003. № 1. С. 135–139.
 5. *Ahmed el Coresy.* Electron microprobe analysis and ore microscopic study of magnetic spherules and grains collected from the Greenland ice // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1968. N 17. P. 331–346.
 6. *Glass B.P., Burns C.A., Crosbie J.R., Dubois D.L.* Late Eocene North American microtektites and clinopyroxene-bearing spherules // *J. of Geophys. Res.* 1985. Vol. 90. N 15. P. D175–D196.
 7. *Phipps Morgan T.J., Reston C.R.* Ranero contemporaneous mass extinctions, continental flood basalts, and “impact signals”: are mantle plume induced lithospheric Earth and gas explosions the causal link? // *Planet. Sci. Letters*. 2004. N 217. P. 263–284.
 8. *Taylor S., Lever J.H., Harvey R.P.* Number, types and compositions of an unbiased collections of cosmic spherules // *Meteoritics & Planet. Sci.* 2000. N 35. P. 651–666.

**MORPHOLOGY AND INTERNAL STRUCTURE
OF MICROSPHERULES (UKRAINE)****S. Bekesha, I. Yatsenko**

*Ivan Franko National University of Lviv
Hrushevskiy St. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: Yatsenko1941@list.ru*

Different types of specific ore and glass particles (balls) from different deposits of Ukraine are described. Spherules have been classified by their morphology and internal structure. The conclusion is made that ore spherules could form in reduce conditions of deep explosive processes (fluidization).

Key words: spherules, morphology, internal structure, magnetite, glass, technogenic material, reduce conditions, explosives process, Ukraine.

**ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ
МИКРОСФЕРУЛ УКРАИНЫ****С. Бекеша, И. Яценко**

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко
79005 г. Львов, ул. Грушевского 4
E-mail: Yatsenko1941@list.ru*

Приведены результаты изучения специфических рудных и стеклянных образований (шариков) из различных отложений территории Украины. Их классифицировано по особенностям морфологии и внутреннего строения. Обоснована возможность образования рудных сферул в восстановительных условиях, которые наиболее характерны для взрывных процессов глубинного заложения.

Ключевые слова: сферула, морфология, внутреннее строение, магнетит, стекло, техногенный материал, восстановительные условия, взрывные процессы, Украина.

Стаття надійшла до редколегії 29.10.2010

Прийнята до друку 09.11.2010