Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет імені Івана Франка

ЯЦЕНКО ІВАН ГЕРМАНОВИЧ

УДК [553.086+553.061.2]:553.81 (477)

СИЛІКАТНО-МЕТАЛЕВІ СФЕРУЛИ ЕКСПЛОЗИВНО-ОСАДОВИХ АЛМАЗОНОСНИХ ФОРМАЦІЙ УКРАЇНИ (ГЕНЕТИЧНІ ТА ПРОГНОЗНО-РОЗШУКОВІ АСПЕКТИ)

04.00.11 – Геологія металевих і неметалевих корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Львівському національному університеті імені Івана Франка МОН України

Науковий керівник: доктор геологічних наук, професор
Павлунь Микола Миколайович,
Львівський національний університет
імені Івана Франка, м. Львів,
декан геологічного факультету

Офіційні опоненти: доктор геолого-мінералогічних наук, професор
Бобров Олександр Борисович,
ПВНЗ «Інститут Тутковського», м. Київ,
проректор з наукової роботи

доктор геологічних наук,
Костенко Микола Михайлович,
Український державний геологорозвідувальний
інститут Державної служби геології та надр України,
м. Київ, провідний науковий співробітник

Захист відбудеться 29 червня 2016 р. о 14^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.051.04 у Львівському національному університеті імені Івана Франка за адресою: 79005, м. Львів, вул. Михайла Грушевського, 4.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Львівського національного університету імені Івана Франка за адресою: 79005, м. Львів, вул. Драгоманова, 5.

Автореферат розісланий 27 травня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 35.051.04,
кандидат геологічних наук Л. М. Хом'як

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дисертації насамперед пов'язана з перспективами удосконалення та розвитку методів геолого-розшукових і розвідувальних робіт в Україні з метою виявлення алмазоносних структур і рудоносних утворень експлозивного типу з потенційним самородним поліметалевим, благородно-металевим та рідкіснометалевим зруденінням.

Несподівано та неочікувано ефективним засобом прогнозування і знаходження таких алмазоносних і рудоносних утворень експлозивного типу можуть стати уперше системно досліджені та класифіковані сферули (СФ) з геологічних формацій геотектонічних структур України. Особливо важливим з цієї точки зору є обґрунтування ендогенного (телуричного) походження сферул як продукту флюїдизатно-експлозивних процесів. Цей факт визначає неординарні та пріоритетні можливості практичного застосування сферул як розшукової ознаки зруденіння експлозивного типу.

Актуальними і показовими є уявлення про процеси формування сферул у глибинніших зонах земної кори, ніж рівень генерації кімберлітового розплаву. Отже, сферули можуть дати неоціненну і новітню інформацію про термодинамічні параметри процесів у глибинних геосферах Землі та про їхній склад. Це зумовлює важливе загальнонаукове значення досліджень.

Використання результатів досліджень сферул сприятимуть удосконаленню й оптимізації методів розшукових робіт на стратегічно важливі види корисних копалин, що матиме позитивний вплив на формування нетрадиційної для України мінерально-сировинної бази, особливо алмазів і золота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що становлять основу дисертаційної роботи, здійснювалися відповідно до тематики науково-дослідних робіт кафедри геології корисних копалин геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка, в тому числі у руслі держбюджетних тем: Гк-03Ф «Теоретичні підґрунтя і практика формування термобарогеохімічного прогнозно-розшукового комплексу постмагматичних рудних формацій» (№ державної реєстрації 0109U002060); Гк-04Ф, «Дослідження флюїдизатно-експлозивних формацій для встановлення критеріїв пошуків зруденіння мантійного походження на Українському щиті» (№ державної реєстрації 0109U002061); Гк-102П, «Мантійний флюїдизм і формування родовищ корисних копалин України» (№ державної реєстрації 0112U001267); Гк-101Ф «Термобарогеохімічні дослідження золоторудних формацій України: фізико-хімічні умови формування і прогнозно-металогенічні оцінки» (№ державної реєстрації 0112U001266).

Мета і завдання дослідження. Головна ***мета*** дисертаційної роботи – довести глибинну природу певних типів сферул і визначити їхній потенціал як розшукової ознаки ймовірно алмазоносних і рудоносних експлозивних утворень глибинного походження. Основні ***завдання*** роботи:

1. Провести аналіз наукової інформації щодо проблем поширення та походження СФ, особливо у контексті флюїдизатно-експлозивного рудогенезу.

2. Провести мікроскопічне дослідження сферул, визначити особливості морфології та внутрішньої будови.
3. Дослідити речовинний склад сферул та супутніх мінеральних утворень. За мінералого-геохімічними ознаками з'ясувати ймовірну глибинну природу сферул і здійснити їхню класифікацію.
4. Провести аналіз поширення сферул у породах різних геологічних формацій в геотектонічних структурах земної кори України, проаналізувати зв'язок типу сферули – геологічна формація.
5. Оцінити перспективи використання сферул у прогнозно-розшукових роботах на алмази та інші види корисних копалин, пов'язаних з експлозивними рудогенними процесами.

Об'єкт дослідження – Прояви флюїдно-експлозивних процесів в геологічних формаціях.

Предмет дослідження – сферули із експлозивних, осадово-вулканогенних і осадових порід України (поширеність, морфологія, речовинний склад, генезис).

Методи дослідження. У зв'язку з майже цілковитим браком даних про поширення сферул у геологічних формаціях України велика увага була надана первинним геологічним дослідженням – польовим роботам, дослідженню кернового матеріалу та колекційного кам'яного фондового матеріалу, лабораторним методам обробки кам'яного матеріалу.

Найінформативнішим з точки зору дослідження складу аморфної та кристалічної фази сферул і особливостей їхньої внутрішньої структури виявився метод електронної мікроскопії з використанням енергодисперсійного детектора, що й став основою хіміко-мінералогічних досліджень. Мікроаналітичні дослідження були виконані у ЛНУ ім. Франка та в інституті наук про Землю Гейдельберзького університету (ФРН).

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Уперше на основі речовинного складу сферул природного походження встановлено дві основні групи : а) тип-I – високотемпературний, глибинний, пов'язаний з рудогенними експлозивними процесами мантійної природи; б) тип-II – порівняно низькотемпературний, пов'язаний з термальним впливом на породи корового походження.
2. Уперше встановлено, що силікатні сферули ендогенного експлозивного походження за хімічним складом утворюють дві основні групи – кальцій-силікатні та титан-манган-залізо-силікатні.
3. Уперше систематизовано новітній матеріал щодо металевих сферул і супутніх мантійних мінералів (кусонгіт, муасаніт, корунд).
4. Уперше проведено аналіз складу летких компонентів сферул, що дало змогу припустити екстремально глибинні умови їхнього утворення.
5. Запропоновано оригінальну модель утворення первинного титан-манган-залізо-силікатного розплаву, з якого формувався відповідний тип сферул.
6. Всупереч двом основним домінуючим гіпотезам походження сферул – імпактній і космогенній – показано, що основна частина досліджених на території України сферул є ювенільним компонентом експлозивних ендогенних утворень.

7. Уперше проведено аналіз загальних закономірностей поширення різних типів сферул і у геологічних формаціях України. Встановлено наявність сферул у породах усіх досліджених структур кімберліт-лампроїтового типу, у породах деяких стратиформних вулканокластичних та осадових формацій.
8. Закладено наукове підґрунтя для використання сферул як діагностичної та індикаторно-розшукової ознаки рудоносних флюїдизатно-експлозивних утворень перспективних з точки зору їхньої алмазоносності, а також благороднометалевого та рідкіснометалевого зруденіння.

Наукове і практичне значення одержаних результатів. Результати проведеного дослідження досі слабо вивчених геологічних об'єктів відкривають перспективи в науково-теоретичному і практичному напрямках. У науковому сенсі вивчення сферул забезпечує додаткові факти до поки що обмежених даних про мінеральний і хімічний склад глибинних частин Землі, дає змогу розширити уявлення про природу рудогенних флюїдизатно-експлозивних процесів і оцінити роль експлозивних процесів у геогенезі і рудоутворенні.

Практичне значення зумовлене встановленим фактом стабільної наявності сферул у різних типах ендогенних експлозивних утворень, незалежно від їхньої загальної хіміко-мінеральної специфікації. Визначено перспективи використання сферул як розшуково-діагностичного ознаки рудоносних утворень флюїдизатно-експлозивного типу.

Особистий внесок здобувача. Автором особисто було відібрано більш ніж 300 проб із різних геологічних об'єктів. Проведено аналіз проб щодо вмісту сферул із колекційного фонду геологічного факультету ЛНУ ім. І.Франка (більше 400 проб). Здійснено аналіз опублікованих даних щодо сферул і розвитку сучасних уявлень про експлозивну діяльність Землі. Підготовано препарати взірців сферул і супутніх мінералів для мікроаналітичних досліджень (близько 700 одиниць). Проведено експериментальні дослідження: за допомогою електричної дуги отримано штучні сферули металевого, оксидного та сульфідного складу. За результатами досліджень здійснено типізацію сферул за морфологічними ознаками [6], за особливостями речовинного складу [7], визначено хіміко-генетичні групи сферул [8], систематизовано результати досліджень летких компонентів сферул [9]. Виконано локальний і загальний аналіз фактології, узагальнення результатів досліджень, визначено подальший напрям вивчення проблеми, шляхи прикладного та наукового використання отриманих результатів. Запропоновані основи теоретичної моделі процесу утворення розплаву сферул у перехідній зоні ядро-мантія.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень були представлені на вітчизняних і міжнародних наукових конференціях, нарадах та семінарах: науковій конференції, присвяченій 60-річчю геологічного факультету ЛНУ ім. Івана Франка «Проблемні питання геологічної освіти та науки на порозі XXI століття» (Львів, 19–21.11.2005); міжнародній науково-практичній конференції «Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. Судакские геологические чтения – II (VII)» (Сімферополь – Судак, 27.09. – 3.10, 2010); науковій конференції «Уральская минералогическая школа» (Єкатеринбург, 28-30.08.2010); науковій конференції, присвяченій 65-річчю геологічного факультету ЛНУ ім. Івана Франка «Стан і перспективи сучасної

геологічної освіти та науки»: (Львів, 13-15.10.2010, 2 доповіді); міжнародній конференції «Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма. Школа – Щелочной магматизм Земли» (Мінськ, 12-16.09.2011, 2 доповіді); міжнародній нараді «Минеральные индикаторы литогенеза» (Сиктивкар, 14-17.03.2011); міжнародній нараді «Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах» (г. Сиктивкар, 20-22.03.2012), XVIII наукова школа «Металлогения древних и современных океанов–2012. Гидротермальные поля и руды» (Міас, 22-27.04.2012); міжнародному семінарі «Кристаллическое и твердое некристаллическое состояние минерального вещества: проблемы структурирования, упорядочения и эволюции структуры» (Сиктивкар, 4–7.06.2012, 2 доповіді); міжнародній науково-практичній конференції «Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. Судакские геологические чтения – III (VIII)» (Сімферополь – Судак, 17–23.09.2012, 2 доповіді); міжнародній науковій конференції «Моделі утворення алмазу та його корінних джерел. Перспективи алмазоносності Українського щита і суміжних територій» (Київ, 1–13.09.2012); міжнародній науково-практичній конференції «Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. Судакские геологические чтения – IV (IX)» (Сімферополь–Судак, 16–22.09.2013, 2 доповіді); міжнародній науково-практичній конференції «Континентальний неовулканізм альпійської складчастої зони Східної Європи» (Київ, 4–5.03.2013, 2 доповіді); V міжнародній науковій конференції «Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища» (Львів, 1-4.10.2013); XXX міжнародній конференції «Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма» (Москва, 16–17.09.2013), VIII наукових читаннях імені академіка Є. Лазаренка «Мінералогія: сьогодення і майбуття» (Львів–Чинадійово, 11-14.09.2014, 2 доповіді).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 36 праць, 12 статей у фахових наукових виданнях і 24 тези доповідей на наукових конференціях різного рівня. Одна з статей опублікована в журналі «Геодинаміка», що входить до наукометричної бази Index Copernicus (IC).

Структура та обсяг роботи. Дисертація загальним обсягом 181 сторінка складається зі вступу, 7 розділів і висновків, 47 рисунків (6 із них на окремих аркушах), 11 таблиць (4 з них на окремих аркушах). Список використаних джерел містить 181 найменування на 20 сторінках.

Автор вдячний д-ру геол. наук, проф. М.М. Павлуню як науковому керівникові за слушні поради та змістовні редакційні зауваження. Дисертант висловлює подяку всім науково-педагогічним працівникам кафедри геології корисних копалин, співробітникам геологічного факультету канд. геол.-мін. наук доц. С.Н. Бекеші, асист. Н.Т. Білик, канд. геол.-мін. наук доц. І.В. Побережській, зав. відділу геохімії глибинних флюїдів ІГГГК НАН України д-ру геол. наук І.М. Наумко за наукові консультації та дискусії, які сприяли підготовці та написанню дисертаційної роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ **«Сферули у геологічному середовищі. Загальні відомості»** висвітлює основні етапи розвитку наукових поглядів на природу сферул від моменту їхнього відкриття; особливу увагу приділено розвиткові вчення про флюїдизатно-експлозивну діяльність Землі.

Перші дослідження сферул пов'язані з результатами знаменитої океанографічної експедиції корвету «Челенжер» у 70-х роках IX ст. сферули були виявлені у донних осадах Тихого океану. Було запропоновано гіпотезу про їхнє позаземне походження. Підставою для цього стали сферична форма частинок, наявність самородного заліза та нікелю. Зародження нової парадигми пов'язане з поширенням ідеї Л. Альвареса про зв'язок між «іридієвими аномаліями» на межі крейда-палеоген, падінням астероїда та масовим вимиранням фауни. Сферули почали інтерпретувати як продукт плавлення гірських порід або порід астероїда. Також запропоновано варіант конденсації з випареної фази. Детальніші геологічні дослідження виявили низку суттєвих суперечностей у теорії Л. Альвареса. Так було встановлено розбіжність віку певних «імпактних» структур з віком відповідних верств із сферулами, наявність кількох верств. З іншого боку, іридій не є винятковим елементом, який характеризує лише речовину космічного походження. Саме межа крейди та палеогену відповідає часу масштабних проявів основного вулканізму на загальнопланетарному рівні, що могло спричинити появу іридієвої аномалії. У багатьох випадках описані знахідки сферул неможливо пов'язати з певними імпактними структурами, і навпаки, у більшості відомих структур, що інтерпретовані як імпактні, не знайдено космічної речовини. Хімічний склад імпактних комплексів порід зазвичай не збігається зі складом порід «мішені».

Щодо космогенної теорії, то використання прицезійних інструментальних досліджень показує, що тільки певний невеликий відсоток сферул можна ідентифікувати як речовину позаземного походження. Аналіз співвідношення хрому та нікелю у сферулах Атлантичного океану чітко показав, що вони не можуть бути оплавленою метеоритною речовиною (Nyquist L. E., 2000). Одначе альтернативних гіпотез не було запропоновано. Варіант магматичного походження відкидався апріорі, оскільки термодинамічні параметри звичайних вулканічних процесів виключають можливість формування сферул (Bi D., 1994).

Наприкінці XX-го ст. набуває розвитку вчення про флюїдизатно-експлозивну діяльність Землі, тобто вкорінення газово-мінеральних сумішей глибинного походження, а не магматичного розплаву у класичному розумінні. Виявилось, що у експлозивних комплексах порід наявні і силікатні, і металеві сферули різноманітного складу. Уперше ідею існування такого типу геологічних процесів висловив у 1941 р. німецький геолог Г. Клос на прикладі юрських відкладів Швабії. Активним дослідженням проявів флюїдизатно-експлозивної активності Землі на даний час займаються як окремі дослідники, так і групи вчених: Є.Г. Пєсков, А.П. Казак, Н.М. Копилова, Є.В. Толмачова, К.Є. Якобсон, С.Ю. Єнгаличев, Л.І. Дьоміна, М.Ю. Промислова, М.С. Мишенкова, М.В. Короновський, А.Я. Рибальченко, В.И. Силаєв, Г.М. Яценко, А.Д. Савко, Л.Т. Шевирєв, Б.А. Мальков, П.К. Скуф'їн, Г.Т. Скублов, Ю.Б. Марін, С.Г. Семіколенних

Є.І. Сандимірова, С.Ф. Главатських, С.М. Ричагов. Робота В.К. Маршинцева (1990), присвячена скляним і рудним сферулам із промислово-алмазоносних трубок Якутії, упевнено підтвердила існування сферул ендогенного походження. Пізніші дослідження флюїдизатно-експлозивних утворень некімберлітового типу, що проводилися незалежними групами дослідників, показали зв'язок сферул не тільки з алмазоносністю, але й з металевим зруденінням. Важливим для оцінки застосування сферул у прогнозно-розшуковому аспекті є серія опублікованих досліджень, що доводить генетичну спорідненість сферул і алмазів. По-перше, сферули наявні саме у високоалмазоносних фаціях, складених туфізитовими кімберлітами (рудних стовпах) трубки «Катока», Ангола (Зинченко В.Н. и др., 2012). По-друге, в алмазоносних породах може не бути мінералів кімберлітової асоціації, натомість може бути наявний комплекс різних типів силікатних сферул, що спостерігають на прикладі алмазоносни туфізитів Уралу (Чайковский И.И. Коротченкова О.В., 2012). По-третє, на поверхні алмазів із родовищ Якутії та Урало-Тиманського регіону були встановлені плівки самородних металів (Макеев А.Б., 2001), в інших випадках скла (Олейников О.Б., 2005). Ідентичні фази були встановлені також як сингенетичні включення в середині алмазів.

Про зв'язок благороднометалевого зруденіння з флюїдизатно-експлозивною діяльністю свідчать високі концентрації золота, срібла та елементів платинової групи у комплексах порід кімберліт-лампроїтового і туфізитового типу, що неодноразово зазначали багато дослідників – А.Я. Рибальченко, А.І.Тищенко, L. Toscani, F. Qingsong. Золото у таких випадках може набувати ідеально сферичної, краплеподібної, оплавленої форми. Описано багато прикладів наявності силікатних і металевих сферул у породах золоторудних родовищ та проявів (Новгородова М.И. и др., 2003; Медведев Е.И. и др., 2006; Хисина Н.Р., 2010; Песков Е.Г., 2010).

На території України системних робіт із вивчення сферул не проводили. Магнітні сферули із алювіальних відкладів р. Дністер описані Є.К. Лазаренком та Б.І. Сребродольським (1969). Дуже цікаве дослідження вмісту летких компонентів у сферулах і гіалокластах з експлозивних структур України проведене М. Братусем зі співавт. (1987). Сферули із району падіння Карпатського боліду EN171101були досліджені В. Семененко зі співавт. (2009). Металеві сферули у контексті досліджень експлозивного вкорінення гіперглибинних флюїдів у нафтогазоносних провінціях описав А.Е. Лукін (2007).

У другому розділі **«Методи досліджень»** описано реалізований автором комплекс геологічних і мінералого-геохімічних методів дослідження. У зв’язку з майже цілковитим браком даних про поширення сферул у геологічних формаціях України велика увага була приділена польовим геологічним дослідженням. Лабораторні методи включали стандартний комплекс обробки мінералогічних проб: дроблення, відмивання, розділення на фракції за розміром, електромагнітна та магнітна сепарації.

Традиційні оптичні методи досліджень сферул у шліфах і аншліфах, рентгеноструктурні дослідження не дали суттєвих результатів, оскільки здебільшого у складі частинок переважають аморфні фази з непрозорого скла.

Найінформативнішим з точки зору дослідження складу аморфної та кристалічної фази сферул і особливостей внутрішньої структури виявився метод електронної мікроскопії з використанням енергодисперсійного детектора, що і став основою досліджень. Головні дослідження були виконані у ЛНУ ім. Франка (електронний мікроскоп «REMMA-102-02»,енергодисперсійний детектор «EDAR») та в інституті наук про Землю Гейдельберзького університету (електронний мікроскоп «Zeiss EVO 50», енергодисперсійний детектор «XMAS 80 SDD»).

Розділ третій **«Мікроскопічне вивчення сферул»** присвячений загальним зовнішнім ознакам сферул і внутрішній структурі, яку можна спостерігати у полірованих препаратах. За морфологічними особливостями виділено основні різновиди сферул, утворення яких зумовлене у першу чергу дією сил поверхневого натягу, а також в'язкістю, тягучістю розплаву та динамічними умовами у момент застигання (рис. 1). Встановлена певна залежність між складом сферул і формою. Визначальною для усіх типів сферул є сферична форма (рис. 1, а-г). Магнетит-залізні сферули (МЗ-СФ) часто утворюють полі сферичні агрегати (рис. 1, в-д). Іноді МЗ-СФ утворюють еліпсоїдальну та краплеподібну форми (рис. 1, е-ж). Досить часто трапляються МЗ-СФ шоломоподібної форми, а також форми півсфери (рис. 1 з, и). Еліпсоїдальна, краплеподібна та гантелеподібна форми притаманні деяким типам силікатних сферул (рис. 1, е, і, ї). Поверхня силікатних сферул у деяких випадках має кратероподібні заглиблення. Титан-манган-залізо-силікатні сферули (ТМЗС-СФ) складені непрозорим склом чорного та чорно-бурого кольору, кальцій-силікатні (КС-СФ) та залізо-алюміній-силікатні (ЗАС-СФ) складені прозорим чи напівпрозорим склом бурого, жовто-бурого, жовтого, зеленого та червоно-бурого кольорів.

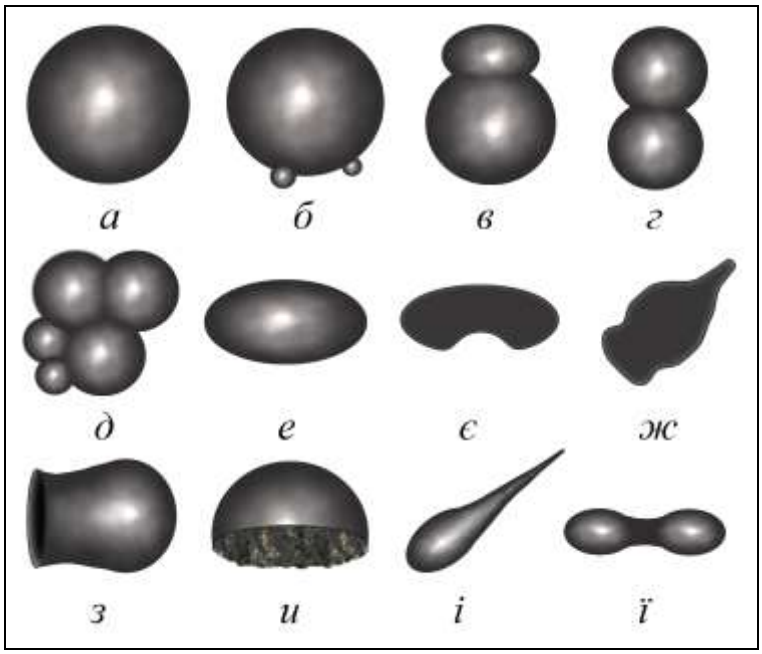


Рис. 1. Основні морфологічні типи сферул: *а* – сферична; *б, в, г, д* – полісферичні агрегати; е – еліпсоїд; *є* – еліпсоїд з провалом (поперечний переріз); *ж* – краплеподібна форма МЗ-СФ (поперечний переріз); *з* – шоломоподібна форма; *и* – півсфера з поверхнею причіплювання; *і* – краплеподібна форма КС-СФ; *ї* – гантелеподібна форма

Особливості внутрішньої будови сферул показані на рис. 2. Варіації будови магнетит-залізних сферул зумовлені різним співвідношенням об’єму металевого ядра й оксидної оболонки (рис. 2, *а-з*). Силікатні сферули у багатьох випадках містять ядро (ядра) зі самородного заліза (рис. 2, *и*). Частина сферул складена виключно склом і не містить металевих ядер (рис. 2, *і*), тим не менш металева фаза здебільшого наявна, але як емульсійне вкраплення. Іноді трапляються варіанти сферул, де можуть бути одночасно представлені і силікатна, й оксидна

фази (рис. 2, *ї-к*), а іноді ще й металева. Сферули типу-II (див. розд. 4) зазвичай мають неідеально-сферичну форму; у структурі наявна велика кількість порожнин і пухирців (рис. 2, *л*), часто трапляються оплавлені реліктові зерна кварцу та польового шпату. Різноманітні сферичні утворення хемогенного ґенезу можна упевнено відрізнити від сферул за відсутністю бульбашок і характерною радіально-променистою або концентрично-зональною будовою (рис. 2, *м*). Структура та морфологія сферул типу-I свідчать на користь того, що вони були сформовані з об'ємів високотемпературного розплаву і не містять залишків кристалічної речовини. Таку ситуацію важко пояснити з точки зору імпактної та космічної теорій. Наявність високовідновленої металевої фази у більшості сферул типу-I (див. розд. 5) свідчить проти того, що вони є продуктом стрес-метаморфізму гірських порід унаслідок імпактного удару. Встановлено, що досить часто сферули із окремих геологічних об'єктів демонструють комплекс власних специфічних морфологічних ознак.

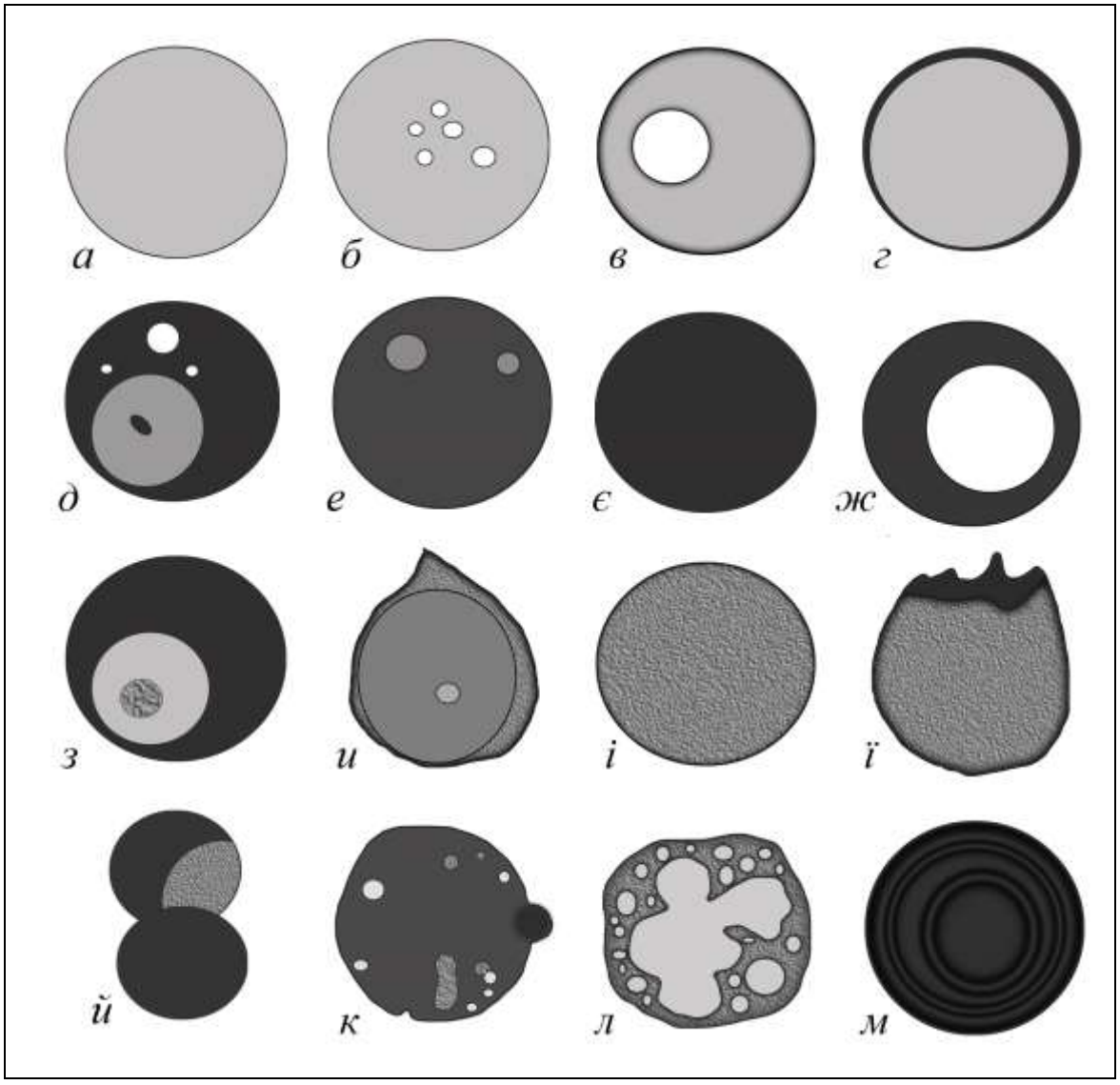


Рис. 2. Внутрішня будова сферул (оксидна фаза – темно-сіре, металева фаза – сіре, порожнини – біле, скло-силікатна фаза – текстуроване сіре): *а-з* – магнетит-залізні сферули; *и-к* – силікатні та гібридні сферули (рудно-силікатні); *л* – сферули тип-II; *м* – хемогенне сферичне утворення (ооліт)

Четвертий розділ **«Геохімічні, мінералогічні та структурні особливості експлозивних частинок»** містить результати мікроаналітичних досліджень частинок глибинної мінеральної асоціації (сферули типу-I, безкисневих мінералів) та сферул і гіалокластів (ГК) типу-II. Треба зазначити, що на даний час виникають певні труднощі з використанням терміна «сферула». Як було зазначено в попередньому розділі морфологія скляних і металевих частинок залежить від складу, розміру та інших чинників. Зокрема, зі збільшенням розміру скляні частинки набувають неправильної форми; тільки невеликий відсоток частинок самородних металів з експлозивних структур утворює сферичну форму.

Силікатні сферули типу-I представлені двома основними групами: це титан-манган-залізо-силікатні (ТМЗС-СФ) та кальцій-силікатні (КС-СФ). Порівняно рідко трапляються алюміній-силікатні, залізо-алюміній- силікатні (ЗАС-СФ), магній-силікатні, лужно-силікатні сферули.

ТМЗС-СФ складені непрозорим високотитановим склом (TiO_2 до 40%,) чорного або бурого кольору (рис. 3; табл. 1), можуть містити ядро зі самородного заліза (рис. 3, *є, ж*; рис. 4, *а, б*). Структура скла може бути гомогенною, а може містити характерні структури швидкого росту (скелетні, решітчасті) кристалів ільменіту (пірофаніту), рутилу, ульвошпінелі, армолколіту (рис. 4, *в, г*).

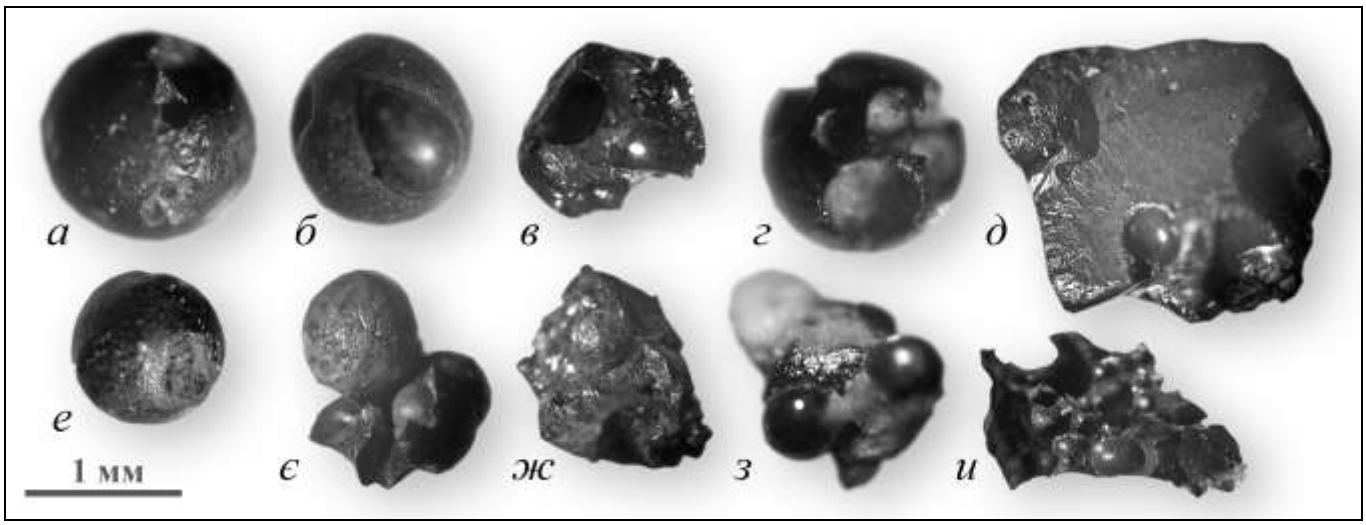


Рис. 3. Мікрофотографії ТМЗС-СФ та ТМЗС-ГК: *а* – сферула, трубка «Південна», Приазовський блок УЩ; *б* – сферула, трубка «Мрія», Приазовський блок УЩ; *в* – сферула, Кіровоградсько-Смілянське поле експлозивних структур; *г* – сферула, Білокоровицька структура, східний борт; *д* – ТМЗС-ГК, трубка «Карпінська-1», Архангельська провінція; *е* – сферула, трубка «Поморська», Архангельська провінція; *є* – фрагмент сферули з двома ядрами самородного заліза, р. Мала Куонамка, Анабарський алмазоносний район; ж – фрагмент ТМЗС-СФ з залізним ядром, Південний Донбас, горизонт i_2^2 s $i_2^{2в}$; *з* – гібридна сферула, наявні одночасно дві фази – магнетитова та скляна високо-титанова, каолінові поклади, Мужійовське золото-поліметалеве родовище; *и* – пухирчастий гіалокласт, св. Бориня-3, олігоцен, Турківський р-н

Таблиця 1

Вміст основних елементів у склі ТМЗС-СФ та КС-СФ (у мас. %)

№	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Сума
ТМЗС-СФ											
1	22,41	31,29	5,16	1,25	16,64	13,63	3,2	2,09	1,18	3,08	99,93
2	23,5	37,52	3,94	0,18	10,35	12,05	3,21	4,32	1,72	4,44	101,23
3	17,84	35,73	4,23	0,17	18,26	12,88	3,56	4,19	1,39	1,58	99,83
4	20,88	38,43	2,44	0,07	7,27	9,56	0,81	17,41	0,93	1,94	99,74
5	17,89	40,1	5,41	0	14,36	12,58	6,29	0,85	1,31	1,21	100
6	16,62	44,37	2,11	0	7,47	14,28	2,93	9,76	1,64	0,83	100,01
7	18,5	39,8	2,85	0	11,51	13,14	2,29	9,1	0,85	1,92	99,96
8	21,77	33,76	5,91	0,35	13,88	10,08	4,19	5,88	2,31	1,46	99,59
9	19,28	42,08	7,56	0,78	9,34	9,71	4,79	1,35	1,95	3,16	100
10	22,68	34,06	7,95	0,32	11,01	13,86	4,63	1,07	2,13	5,8	103,51
11	25,92	32,08	5,41	0,45	10,18	16,22	0,63	5,35	0,95	3,35	100,54
КС-СФ											
2	40,43	1,24	11,55	0,02	6,56	0,38	6,16	31,84	1,56	0,68	100,42
4	32,55	6,24	14,18	0	0,62	0,59	9,69	34,13	0,04	0,53	98,57
12	42,78	0,28	7,83	0	0,99	0,73	3,95	38,75	0,81	0,98	97,1
13	43,29	0,31	6,14	0	0,89	1,12	3,74	40,79	0,54	0,61	97,43
10	26,03	8,4	8,7	0	4,27	5,15	0	46,51	0	0	99,06
14	34,95	1,65	10,05	0	0	1,86	3,54	43,3	0	2,03	97,38

Примітки: 1 – Куонамський р-н, Якутія; 2 – трубка «Удачна», Якутія; 3 – трубка «Карпінська-1», Архангельська алмазоносна провінція; 4 – алмазоносні вішерити Західного Уралу; 5 – експлозивні структури Кіровоградсько-Смілянського поля; 6 – кімберлітові дайки, Щорсівська ділянка; 7 – трубка «Мрія», Західне Приазов'я; 8 – трубка «Південна», Приазов'я; 9 – Зеленогайська структура; 10 – східний борт Білокоровицької структури; 11 – св. Бориня-3, олігоцен, Карпати; 12 – експлозивні відклади, с. Путринці; 13 – пліоценові глини, с. Казавчин; 14 – глини, стрийська світа, с. Тарнава.1,3,5-14 – дані власних досліджень; 2 – дані В. К. Маршинцева (1995); 4 – дані І. І. Чайковського і О. В. Коротченкової (2012)

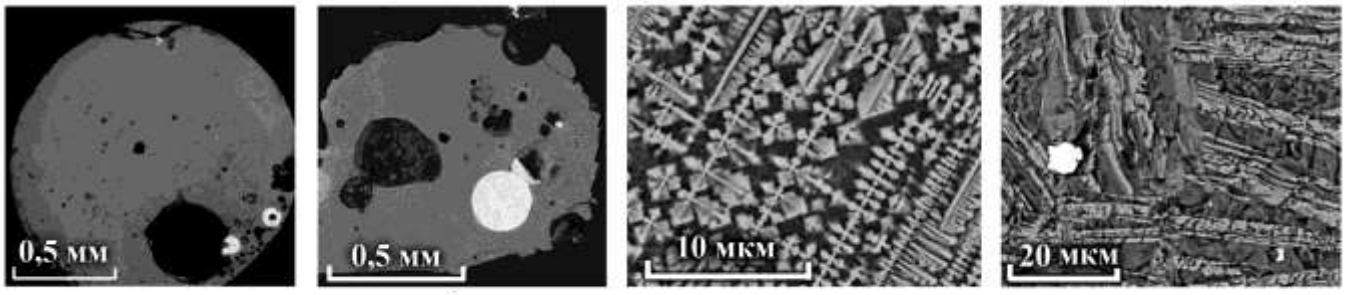


Рис. 4. Внутрішня структура ТМЗС-СФ, поперечний перетин, BSE зображення: *а* – трубка «Мрія»; *б* – Зеленогайська експлозивна структура, св. 4096, гл. 343-349 м, пр. 90-3; *в* – Зеленогайська експлозивна структура, скелетні кристали ульвошпінелі у скляній масі, св. 4096, гл. 235-238.8 м, пр. 90-2, *г* – Щорсівська ділянка (кімберлітова дайка), структура утворена кристалами піропаніту й армолколіту, трапляються дрібні сферичні включення самородного заліза (біле)

КС-СФ здебільшого складені з прозорого скла жовтого і жовто-бурого кольору, іноді трапляються різновиди зелених та червоно-бурих відтінків (рис. 5). Скло сферул загалом гомогенне, містить розсіяну тонкодисперсну металеву фазу – це сферичні включення самородного заліза, менші ніж 2 мкм за розміром.

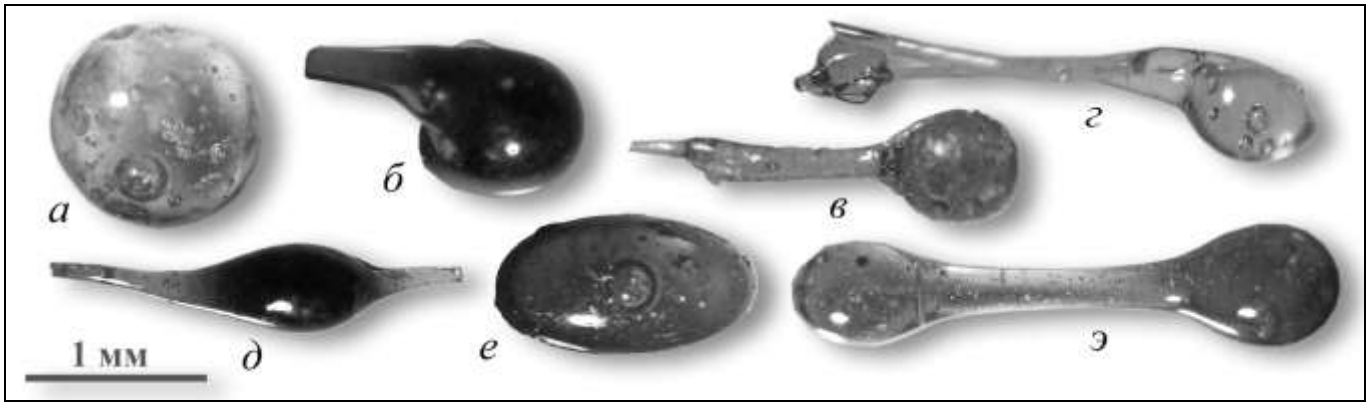


Рис .5. Мікрофотографії морфологічних різновидів КС-СФ: *а* – сферична сферула з численними газовими пухирцями, стрийська світа, с. Тарнава; *б* – краплеподібна сферула, східний борт Білокоровицької структури; *в* – краплеподібна сферула, пліоцен, Гайворонський р-н; *г* – гантелеподібна сферула, волинські верстви, м. Львів; *д-є* – с. Путринці, Хмельницька обл. (*д* – веретеноподібна сферула, *е* – еліпсоїдальна сферула, *є* – гантелеподібна сферула)

Металеві сферули типу-І за складом домінуючих компонентів можна розділити на 4 основні групи.

Самородне залізо трапляється у складі силікатних сферул, утворює окремі МЗ-СФ, частинки неправильної та лускоподібної (рис. 6, *а*) форми. МЗ-СФ є найпоширенішим типом, зазвичай має двокомпонентну будову – ядро з самородного заліза й оксидна магнетит-вюститова оболонка.

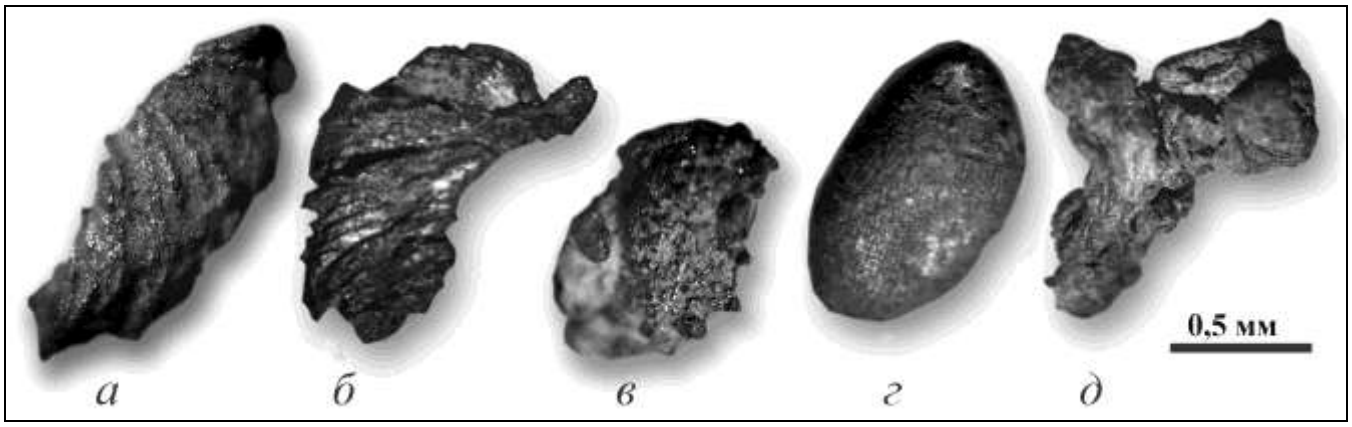


Рис. 6. Частинки самородних металів та інтерметалевих сплавів: *а* – самородне залізо, стрийська світа, Скибова зона, Карпати; *б* – лускуватий агрегат системи Cu-Zn, Кіровоградсько-Смілянське поле експлозивних структур (пр. 4056, гл. 83 м); *в* – сплав системи Cu-Zn (пр. 4096, гл. 343-349 м, пр.. 90-3); *г, д* – металеві частинки, трубка «Мрія» (*г* – Pb, *д* – Pb-Sn-Zn)

Самородна мідь і сплави системи Cu-Zn. Частинки самородної міді прутоподібної форми були знайдені у кластогенних відкладах трубки «Мрія», але

здебільшого вона трапляється як компонент сплаву Cu-Zn. Морфологія зерен сплаву Cu-Zn різноманітна – сферичні агрегати, луски, неправильні оплавлені форми, прутоподібні виділення, вигнуті пластинки, що нагадують стружку та мають зубчасті краї (рис. 6, *б, в*). Мідь також наявна у сферулах як компонент сплаву з благородними металами (Au, Ag).

Самородні свинець, станум та їхні сплави утворюють групу металевих частинок варіативного складу. Основними елементами є Pb та Sn, що додатково можуть містити у різних пропорціях As, Sb, Zn, Cu, Ag (табл. 2). Частинки з чистого Pb мають тенденцію утворювати близькі до сферичної та оплавлені форми (рис. 6, *г*) за наявності домішок частинки здебільшого набувають неправильної форми (рис. 6, *д*).

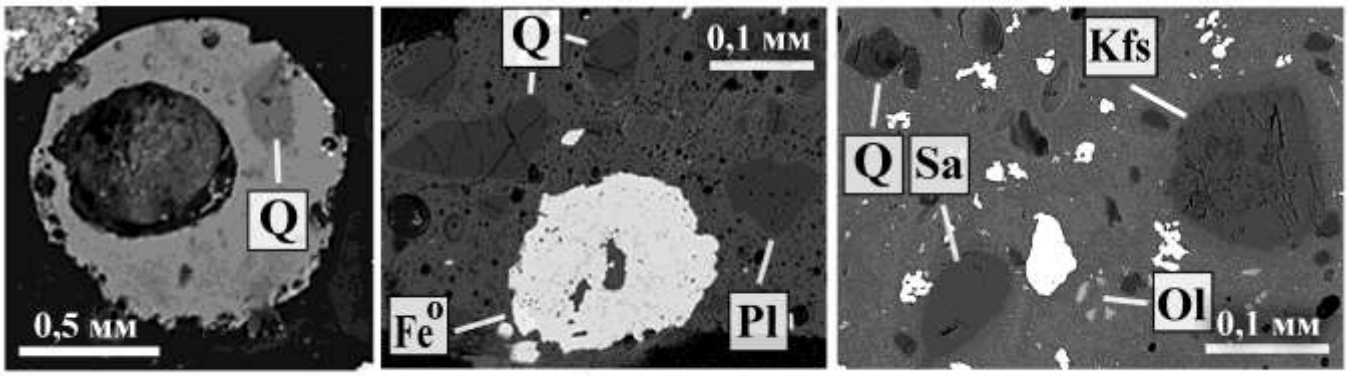
Сплави системи Au-Ag-Cu експлозивного походження встановлені у експлозивних структурах кімберліт-лампроїтового типу Приазовського блоку Українського щита (Тищенко А.И., 2004, 2006), Якутії, Іспанії. Форма частинок часто має ідеально-сферичну форму, описані знахідки булавоподібної та прутоподібної форми. У ході досліджень було знайдено сферулоподібні частинки складу Au-Ag та Au-Ag-Cu в алмазоносних відкладах Білокоровицької структури.

Таблиця 2

Хімічний склад самородного свинцю та його інтерметалевих сплавів, трубка «Мрія», пр. 189 А-1 (у мас. %)

Метал, сплав	Ag	Sn	As	Sb	Pb	Сума
Sn+Pb		97,16				97,16
					99,12	99,12
Sn+Pb					98,23	98,23
				84,53	18,45	102,98
Pb					98,65	98,65
Pb-As	0,81	0,16	24,28		74,74	100
Sn-Pb-As	0,03	84,28	4,67		11	100
Pb-Sb				3,29	96,71	100
				12,67	87,33	100
Pb					100	100
					100	100
					100	100

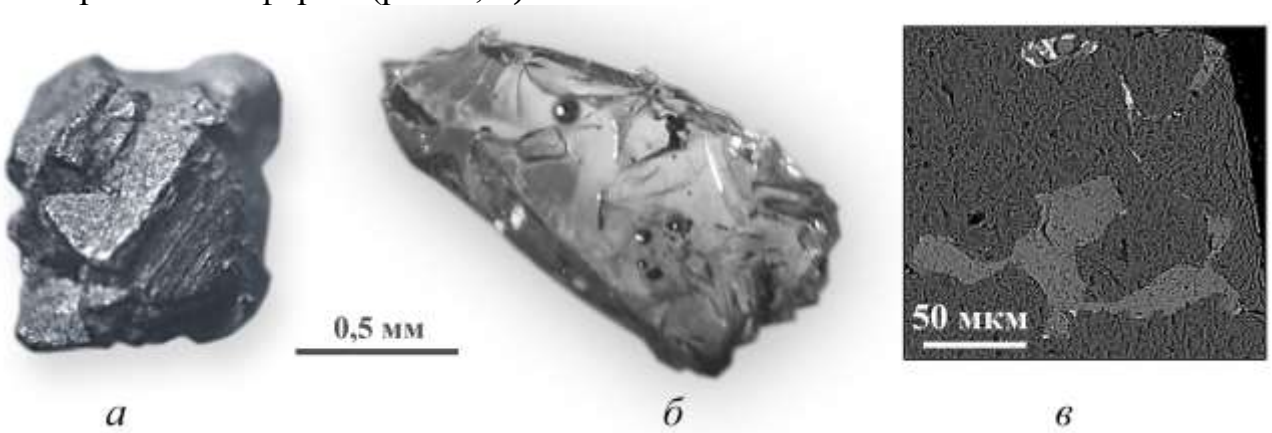
Силікатні сферули та гіалокласти (ГК) типу-II класифіковані у роботі як окремий тип скляних частинок. Відмінними ознаками є змінний, головно алюміній-залізо-силікатний склад скла, наявність реліктових оплавлених мінералів – кварцу, польових шпатів, олівіну (рис. 7). Очевидно, що утворення цього класу частинок пов’язане з короткотривалим термальним впливом на гірські породи (пірометаморфізмом). Можна спостерігати ряд перехідних підтипів частинок за ступенем перетворення речовини: обпалені частинки породи з незначними ознаками вітрифікації – скляні частинки з реліктовими зернами первинної породи – повністю витрифіковані частинки з новоутвореними металевими фазами (залізо, мідь).



а *б* *в*

Рис. 7. Внутрішня структура сферул типу-II, поперечний переріз, BSE зображення: *а* – стрийська світа, Скибова зона, Карпати; *б, в* – Зеленогайська експлозивна структура (*б* – гл. 343-349 м, пр. 90-3; *в* – гл. 235-238.8 м, пр. 96-2)

Феросиліцій, карбід вольфраму (кусонгіт), муасаніт, корунд із включеннями металевих фаз є мінералами мантійного походження; трапляються в експлозивних утвореннях разом із комплексом сферул, що визначає їхній потенціал у діагностиці рудоносних комплексів флюїдизатно-експлозивного типу. Феросиліцій трапляється як самостійні утворення неправильної та оплавленої форм, а також як включення у корунді й у свинцевих сферулах. Кусонгіт (WC) уперше в Україні встановлений нами у складі експлозивних порід трубки «Мрія», Зеленогайської кільцевої структури, Білокоровицької структури та Путринецької ділянки. Мінерал трапляється здебільшого у вигляді гострокутних уламків сталевого кольору, іноді утворює кристалічні форми (рис. 8, *а*).



а *б* *в*

Рис. 8. Мінерали експлозивної асоціації: *а* – кусонгіт, трубка «Мрія», пр. 189 А-1; *б* – зерно корунду мантійного типу, помітні сферичні включення металевої фази, стрийська світа, с. Тарнава, Добромильській р-н; *в* – фрагмент внутрішньої структури корунду (темно-сіре) з включеннями аморфної оксидної фази TiO_2-Al_2O_3-ZrO_2 (сіре) та металевих фаз Ti-Zr-Fe-Si (біле), пр. Я-123/1, стрийська світа, с. Тарнава

Корунд мантійного типу встановлений у алмазоносних вішеритах Західного Уралу. В Україні нами вперше було діагностовано цей тип корунду в експлозивних породах трубки «Мрія», Зеленогайської кільцевої структури, Білокоровицької структури, Путринецької ділянки, Карпатського регіону. Характерною особливістю мінералу є наявність у його структурі сингенетичних включень аморфної оксидної

та металевої фаз із високим вмістом титану та цирконію за наявності рідкісноземельних елементів (рис. 8, *б*, *в*; табл. 3).

Таблиця 3

Склад сингенетичних включень твердих розчинів (аморфна оксидна фаза) у корунді мантійного типу (у мас. %): пр. Я-123/1– с. Тарнава, стрийська світа, пр. А-603/II – Путринецька ділянка

Оксиди	Проба Я-123/1			Проба А-603/II	
SiO_2	26,51	0	0	0,9	0
TiO_2	12,77	5,67	59,65	55,15	4,79
Al_2O_3	26,39	81,65	0	15,93	81,46
FeO	0	0	0	0	0
MgO	3,28	2,5	0,92	1,44	2,51
CaO	22,25	6,45	0	1,23	7,69
ZrO_2	9,39	0	36,31	20,66	0
Sc_2O_3	0	0	3,11	0	0
Ce_2O_3	0	1,05	0	0	0
Сума	100,59	97,32	99,99	95,31	96,45

У п’ятому розділі **«Поширення сферул у геологічних формаціях геотектонічних структур України»**, узагальнені й упорядковані дані дослідження сферул та супутніх частинок пірогенного походження з певних геологічних об’єктів (формацій) згідно з тектонічним районуванням території України. У сферу досліджень включений також досліджений матеріал з кімберлітових трубок відомих алмазоносних провінцій, що надало більшої ґрунтовності загальним висновкам результатів досліджень.

Український щит (УЩ) є тектонічною структурою, що являє собою підняття фундаменту Східно-Європейської платформи. У будові щита вирізняють два структурних поверхи: докембрійський фундамент, складений метаморфічними та магматичними складно-дислокованими комплексами порід; малопотужний осадовий чохол (100-200 м), складений породами мезо-кайнозойського віку.

Сферули були виявлені у породних комплексах *експлозивних структур Українського щита*. Факт того, що сферули є невід’ємним компонентом ювенільної мінеральної асоціації мантійних експлозивних утворень, покладений в основу представленої концепції їхнього ендогенного походження.

- *Трубка «Мрія»*. Експлозивна структура лампроїтового типу виповнена породами амфібол-слюдистого складу і розташована у межах Західно-Приазовського блока УЩ. У складі порід вулканокластичних фацій структури встановлений значний вміст ТМЗС-СФ, металевих сферул (Fe, Pb, Fe-Ni-Cr, Sn+Pb, Pb-Sb, Pb-As, Sn-Pb-As), мантійні мінерали (корунд, кусонгіт, алмаз), широко представлені мінерали кімберліт-лампроїтового парагенезису.
- *Трубка «Південна»*. Одна із серії кімберлітових тіл розташованих у зоні зчленування складчастих структур ДДЗ і Західно-Приазовського блоку УЩ. У складі кімберлітових брекчій наявні ТМЗС-СФ, частинки самородного заліза різноманітної форми.

- *Кімберліти (лампроїти?) Щорсівської ділянки* (Кіровоградський блок УЩ) утворюють дайкоподібне тіло. У керновому матеріалі був виявлений безпрецедентно крупний уламок (більше 2 см) пухирчастого високотитанового скла, ідентичного за складом ТМЗС-СФ. У структурі скла переважає кристалічна фаза піроханіту й армолколіту, наявні також сферичні включення самородного заліза.
- *Кіровоградсько-Смілянське поле експлозивних структур*. Серія експлозивних утворень, пов'язаних з етапом мезо-кайнозойської активізації, розташована у межах Кіровоградського блоку УЩ (ділянки Грузька, Лісова, Озитнязька). У кластогенних кімберлітоподібних породах флюїдизатно-експлозивного типу встановлений незначний, але постійний вміст МЗ-СФ. Супутня мінеральна асоціація представлена цирконом та ільменітом. На окремих інтервалах (св. 4056, пр. 83) встановлений значний вміст МЗ-СФ, ТМЗС-СФ, наявні металеві частинки системи Cu-Zn, кусонгіт (WC).
- *Зеленогайська, Бовтиська та Белілівська (Західна) вибухові структури* мають неоднозначно-дискусійне походження – деякі вчені інтерпретують їх як утворення імпактного походження, інші вважають їх типовими ендогенними експлозивними структурами. У рамках роботи був досліджений матеріал із Зеленогайської структури. У ній встановлений комплекс сферул , властивий структурам кімберліт-лампроїтового типу: МЗ-СФ, ТМЗС-СФ, частинки самородних металів (Cu-Zn, Fe), кусонгіт (WC). За даними М. Братуся зі співавт. (1987), кратерні фації Бовтиської структури містять два типи сферул : а) складені темним склом та рудними мінералами і самородним залізом; б) складені прозорим склом містять мікроліти перовскіту, силіциди заліза, муасаніт, самородні метали, оксиди титану. ТМЗС-СФ встановлені у Белілівській (Західній) експлозивній структурі (Цимбал С.М. та ін., 1999), МЗ-СФ у Ільїнецькій структурі (Ваганов В.И. и др., 1985).
- *Білокоровицька структура* – це субмеридіональна рифтогенна структура мезо- неопротерозойського віку, розташована у межах Волинського геоблоку Українського щита. У складі пісковиків і конгломератів східного борту структури встановлено наявність різноманітних типів силікатних і металевих сферул типу-І: ТМЗС-СФ, КС-СФ, ЗАС-СФ, МЗ-СФ; мідно-цинкові, свинцеві, золоті, золото-срібні сферули. Наявні мантійні мінерали – муасаніт, кусонгіт, корунд, алмаз. Широко представлені мінерали кімберлітової асоціації.
- *Чохол Українського щита*

− Е.К. Лазаренко зі співав. (1980) вказують на знахідки сферул, що складені ферсиліцидом і фердисиліцидом, у *полтавських відкладах* на північному схилі Катиринівського гранітного масиву, Приазовський блок УЩ. Супутня мінеральна асоціація представлена: ільменітом, цирконом, рутилом, гранатом ставролітом, амфіболом, піритом, монацитом, корундом, топазом, баритом.
− Демидівський кар'єр, с. Демидівка, Гніванський район. В основі розрізу *теригенно-карбонатних відкладів сармату*, що перекривають граніти Бердичівського комплексу, знайдені сферули і крупні уламки чорного

шлакоподібного скла розміром до 2 см, на окремих ділянках колір скла може змінюватись до білого. Склад скла – залізо-алюмо-силікатний.

- У складі концентрату з *Іршанського ільменітового розсипного родовища* виявлена висока кількість МЗ-СФ крупного і середнього розміру, рідкісні ТМЗС-СФ, а також ГК, що за своєю специфікою нагадують шлакоподібні частинки Зеленогайської структури.
- У Гайворонському районі були досліджені сферули з *червоноколірних глин пліоценового віку*. Було виділено велику кількість сферул типу-II, уламки пухирчастого скла, магнітні шлакоподібні уламки. У меншій кількості наявні сферули типу-I це – МЗ-СФ, АЗС-СФ, КС-СФ.

У межах західного схилу Українського щита, і на прилеглих частинах Волино-Подільської плити сферули знайдені переважно у складі пірокластичних фацій *Волино-Подільської трапової формації* та у деяких териненно-осадових комплексах порід.

- *Рафалівська ділянка.* Західний схил УЩ. МЗ-СФ та дрібні ТМЗС-СФ встановлені у відкладах бродівської світи (пісковики, алевроліти, аргіліти). МЗ-СФ та ТМЗС-СФ трапляються у теригенно-вулканогенних породах горбащівської світи, супутня асоціація представлена такими мінералами: гранат, ільменіт, турмалін, шпінель, рутил, ставроліт, піроксен, пірит, апатит, циркон.
- *Ратнівське рудне поле.* Ратнівський горст, центральна частина Прип'ятського валу. МЗ-СФ та ТМЗС-СФ трапляються у теригенно-вулканогенних породах горбащівської світи, супутня асоціація представлена наступними мінералами: гранат, ільменіт, турмалін, шпінель, рутил, ставроліт, піроксен, пірит, апатит, циркон.
- *Кухотсько-Серхівська площа. Перекальська вулканічна структура.* Св. 49, гл. 196 м. ЗАС-СФ червоно-жовтого кольору виявлені у літо-вітрокластичних туфах перекальської (горбащівської) світи вендського віку. Форма сферул сферична, еліптична, краплеподібна. У породі трапляються окремі літокласти, покриті або імпрегновані склом аналогічного до складу сферул.
- *Берестовецький базальтовий кар'єр (№9)*, волинська серія венду. Сліпе жилоподібне тіло штокверкового типу складене кластогенною сумішшю – глинистим субстратом із численними сферулами та крупними (до 7 см) уламками з чорного скла. Склад скла сферул є наближеним до складу базальтів волинської серії.
- МЗ-СФ і АЗС-СФ були досліджені у пірокластичних відкладах *берестовецької світи*, які представлені у природному відслоненні й у кар'єрі с. Ташки, Славутський р-н, Хмельницька обл.
- *Путринецький прояв* флюїдизатно-експлозивної діяльності перебуває неподалік на південь від вищеописаного об'єкта (с. Путринці) і є унікальним з точки зору кількісного та якісного складу пірогенної речовини експлозивного походження. Тут було діагностовано силікатні сферули (ТМЗС-СФ, КС-СФ, АЗС-СФ та ГК), металеві сферули (Fe, Fe-Ni-Cr, Fe-Cr, Sn-Sb-Pb+Cu-Sb, Zn, Cu, Fe-Ti, Sn+Pb, Pb), асоціацію високопараметричних мінералів (муасаніт, кусонгіт, мантійний корунд,

дистен, хром-шпінель, ільменіт, ставроліт, гранати) й уламки ультраосновних порід.

- Дуже подібні до Путринецького прояву експлозивні частинки було виявлено у пробах із піщанистих відкладів, що перекривають горизонт сеноманських кременів на північній околиці м. Славута, правий берег р. Горинь.

Донецька складчаста область є Донецьким сегментом Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецького авлокогену. У геологічному розрізі середнього карбону Головної синкліналі Донбасу, в межах Антрацитовського, Ровенецького та Довжанського вугленосних районів поширений горизонт i_2^2 s $i_2^{2в}$ потужністю 6-9 м. Нові геолого-мінералогічні дані свідчать на користь вулканічної природи даного горизонту. У пробах з основних типів порід горизонту автором були виявлені численні ТМЗС-СФ, ТМЗС-ГК, залізні сферули та частинки самородного заліза.

Карпатська складчаста система, Передкарпатський прогин. Уперше в регіоні МЗ-СФ і ТМЗС-СФ було діагностовано у олігоценових верствах пробурених св. Бориня-3 у межах Кросненської зони Зовнішніх Карпат. Подальші дослідження показали наявність сферул у відкладах стрийської світи (Скибова зона) та відкладах воротищенської світи (Бориславсько-Покутська зона). Загалом були встановлені такі типи: ТМЗС-СФ, МЗ-СФ, КС-СФ, силікатні сферули специфічного складу (Ca-Al-Si, Fe-Si, Ca-Al-Fe-Si, Ca-Fe-Ti-Si, Al-Si, Al-Fe-Ca-Si, Fe-Mg-Si), самородні метали (Fe, Pb, Cu), силіцид заліза, частинки склоподібного вуглецю пухирчастої текстури, різноманітні сферули та гіалокласти типу-II.

Лєно-Анабарська алмазоносна субпровінція. Куонамський алмазоносний район. Проби магнітної фракції з нижньоюрських кімберлітів Куонамського алмазоносного району майже на сто відсотків представлені сферулами – це сімейство МЗ-СФ і ТМЗС-СФ та їхні модифікації: чисто залізні сферули, магнетитові сферули з та без залізного ядра, сферули з високотитанового скла з залізним ядром чи без.

Архангельська алмазоносна провінція. Нами вперше було встановлено наявність сферул у промислово алмазоносних трубках Золотицького поля – «Карпінська-1» та «Поморська». У пробах було встановлено ТМЗС-СФ, ТМЗС-ГК, МЗ-СФ, шлакоподібні частинки складені вюститом. Також були виявлені сферули з «корундового скла» (Al_2O_3 – 100%).

Аналіз поширення сферул у геологічних формаціях України та в деяких алмазоносних провінціях показав, що вони є ювенільним компонентом порід експлозивних утворень кімберліт-лампроїтового типу й інших типів експлозивних структур та інтрузивно-пірокластичних утворень. Також сферули трапляються у породах осадово-вулканогенних і осадових формацій широкого вікового діапазону практично на всій території України. Загальною рисою усіх сферул є високий ступінь збереженості й повна відсутність ознак механогенної обробки. Це вказує на те, що вони потрапляли у басейн осадонакопичення повітряним шляхом у як пірокластичний матеріал.

У шостому розділі **«Вірогідна модель походження сферул»** представлений гіпотетичний варіант вирішення питання утворення високотитанового силікатного первинного розплаву, з якого формувався найпоширеніший тип сферул – ТМЗС-СФ. Такий розплав неможливо зіставити з відомими типами магми, включаючи кімберлітову. Вихідними даними стали такі ключові положення: 1) температура

розплаву повинна становити не менше 2000 ^{0}C; 2) окиснювальний потенціал розплаву перебуває на рівні рівноваги залізо-вюстит; 3) леткі компоненти розплаву представлені воднем і азотом за відсутністю води.

У структурі Землі таким вимогам якнайкраще відповідає перехідна зона ядро-мантія (шар D''). Утворення титан-силікатного розплаву досить логічно вписується у процес утворення мантійних плюмів. Сценарій такий. Підвищення температури сприятиме зміщенню окиснювального потенціалу системи в бік стабільності більше споріднених до кисню елементів мангану, силіцію, титану. Це призведе до збагачення залізного розплаву цими елементами та зменшення його густини. Еволюція плюму, піднімання розплаву на вищі рівні буде супроводжуватися зниженням температури. Це спричинить процес зворотного напрямку з формуванням гетерогенного розплаву з металевою залізною та окисленою титан-силікатною фазою. У розділі розглянуто також механізм утворення сферул типу-II. Доведено, що їхнє утворення спричинено термальним впливом на гірські породи (пірометаморфізмом). Такі високотемпературні процеси формування цих сферул теоретично можуть мати різну природу: глибинну експлозивну, самозаймання природних викидів вуглеводнів, самозаймання вугільних покладів, лісові пожежі, удари блискавок.

Сьомий розділ **«Перспективи використання сферул як розшукової ознаки»** присвячений практичним аспектам застосування сферул у геолого-розшукових роботах. Використання сферул як прогнозо-розшукової ознаки в основі зумовлено генетичною близькістю алмазів і сферул, а також фактом наявності сферул у певних типах проявів і родовищ благородних та рідкісних металів. Наявність самородних металів свідчить про існування відновлювальних умов протягом транспортування глибинного матеріалу до поверхні, що є необхідним для захисту алмазів від окиснення. В умовах України використання сферул і супутніх безкисневих мінералів набуває особливого значення, оскільки класичні індикаторні мінерали кімберлітової асоціації представлені в експлозивних структурах обмежено. Метод використання сферул як розшукової ознаки має об'єктивні переваги порівняно з використанням традиційних мінералів-супутників алмазу. По-перше, це легка сепарація та діагностика сферул; по-друге, виключно експлозивне походження певних типів сферул; по-третє, наявність сферул у всіх типах флюїдизатно-експлозивних утворень (алмазоносних, золотоносних). Важливо, що сферули наявні в експлозивних породах і у тих випадках, коли кімберлітових мінералів немає, або вони є дуже рідкісними. Тут доречно згадати вішерити Західного Уралу як приклад алмазоносних порід, де важкі мінерали кімберлітової асоціації трапляються дуже рідко та зазвичай змінені вторинними процесами. Натомість тут широко представлені різноманітні типи сферул, муасаніт і корунд мантійного типу. У розшуково-генетичному контексті муасаніт, кусонгіт і корунд разом із сферулами доречно об'єднати в єдину «експлозивну мантійну мінеральну асоціацію».

Важливим напрямом застосування сферул у геолого-розшукових роботах є діагностика утворень флюїдизатно-експлозивного типу. Зазвичай експлозивні структури та породи не мають чітко виражених ознак: це утворення, виповнені кластогенним матеріалом, що можуть бути подібними до осадових відкладів, кір звітрювання, тилітів, карстових структур, кластитових дайок, коптогенних утворень,

катаклазитів і тектонічних брекчій. Діагностика експлозивних формацій також ускладнена тим, що здебільшого породи складені сумішшю глибинної речовини та ксеногенного осадового матеріалу. Оскільки експлозивні структури зазвичай є поліфаціальними та багатофазними, сферули можуть використовуватися з метою діагностики саме рудоносних порід. Так на трубці «Катока» (Ангола) наявність сферул пов'язана з високоалмазоносними туфізитовими тілами, так званими рудними стовпами. Що стосується благороднометалевого зруденіння експлозивного типу, то у цьому разі металеві сферули є водночас і корисним компонентом, і діагностичною ознакою. Сферичні, краплеподібні, дротоподібні, неправильні оплавлені частинки золота мають експлозивну природу, що треба враховувати у розшуково-розвідувальних роботах.

Другим напрямом застосування сферул є розшук по ореолах розсіяння експлозивної речовини. Досвід показав, що кожен прояв має свій специфічний набір і пропорції експлозивних компонентів з певними морфологічними, геохімічними ознаками. Це робить можливою кореляцію верств, що містять експлозивний матеріал у разі їхнього поширення по площині, а дослідження зміни гранулометричного складу частинок дають можливість виявити напрямок поширення пірокластичного матеріалу. Оскільки сферули у стратиформних геологічних формаціях представлені як пірокластична речовина, що не зазнала суттєвого перевідкладення – первинні експлозивні структури мають бути синхронними або наближеними за віком до відповідних відкладів, що містять сферули. Таким чином у розшукових роботах треба враховувати, що верстви зі сферулами не є вторинними колекторами акумуляції. Виходячи з досвіду польових досліджень виникає питання, щодо доцільності використання шліхового опробування руслових відкладів. Встановлено, що ефективнішим є безпосереднє опробування корінних відкладів, яке показує незрівнянно більший вміст компоненту, ніж шліхові проби з відповідних руслових відкладів. Одначе пошук первинних експлозивних структур – джерела пірокластичного матеріалу, може бути ускладнений тим фактом, що потужність і спрямованість вибухових процесів, за оцінкою багатьох дослідників, може сприяти підніманню пірокластичного матеріалу на висоту до 80 км. Таким чином його осадження може відбуватися на дуже великих відстанях від центру виверження.

Вельми привабливою для прогнозно-розшукового використання видається наявність зв'язку між хімізмом, якісним і кількісним співвідношенням компонентів мантійної експлозивної асоціації (сферули, мантійні безкисневі мінерали), з одного боку, та характером експлозивного зруденіння – з другого. Вирішення цього питання потребує значного об'єму фактологічних даних, але як позитивний аргумент уже на даний момент встановлені елементи залежності між типами сферул і алмазоносністю. Так, комплекси силікатних сферул із промислово алмазоносних структур представлені різними типами: ТМЗС-СФ, КС-СФ, ЗАС-СФ, МЗ-СФ. У досліджених слабоалмазоносних структурах Українського щита силікатні сферули представлені тільки високотитановим різновидом (ТМЗС-СФ). Виходячи з такої позиції, можна визначити як перспективні ділянку східного борту Білокоровицької структури та Путринецьку ділянку, де встановлені комплекси сферул різних типів.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних даних показав, що з моменту відкриття сферул і практично до кінця XX ст. панували ідеї їхнього космічного або імпактного походження. Сучасні дослідження доводять наявність ендогенних експлозивних структур із притаманними ендогенними типами силікатно-металевих сферул. У першу чергу це ТМЗС-СФ і КС-СФ. Флюїдизатно-експлозивні утворення є різноманітними за складом, структурою, типом зруденіння. Модель алмазоносної кімберлітової трубки є окремим і добре дослідженим прикладом масштабнішого явища – експлозивної діяльності Землі.
2. Мікроскопічні дослідження показали залежність морфології сферул від складу. Розкрили виняткову індивідуальність сферул типу-I, відсутність зв'язку з ймовірною первинною кристалічною речовиною. Найвірогіднішим сценарієм походження сферул є утворення у газових потоках із глибинних резервуарів зі швидким застиганням в умовах адіабатичного розширення.
3. Геохімічні та мінералогічні дослідження показали у першу чергу неможливість утворення сферул за рахунок плавлення космічної речовини або порід земної кори, а також дали змогу здійснити класифікацію сферул. Загалом було проаналізовано близько 700 частинок – це сферули, гіалокласти, супутні мінерали. Найпоширенішими типами силікатних сферул виявилися висококальцієві та високотитанові різновиди (відповідно КС-СФ і ТМЗС-СФ). Надзвичайно високий і сталий вміст титану та кальцію виключає можливість їхнього утворення за рахунок метеоритної речовини, яка є збідненою саме на ці елементи порівняно з іншими породоутворюючими елементами. Самородне залізо сферул містить незначні домішки Ti, Cr, Mn, Ca і тільки у деяких випадках Ni. Таким чином, його не можна зіставити з самородним залізом метеоритів, що має характерний високий вміст Ni та Co. Утворення ТМЗС-СФ і КС-СФ неможливо пояснити з точки зору переплавлення гірських порід унаслідок імпактного удару. Те ж саме можна сказати про характерний відновлений стан експлозивної речовини (сферули, безкисневі мінерали). Аналіз результатів мікроаналітичних досліджень показав, що сферули України в основній масі виявляють тотожність з ендогенними сферулами з інших алмазоносних формацій і деяких золотоносних формацій світу.
4. Аналіз поширення сферул у геологічних формаціях показав, що сферули є ювенільним продуктом експлозивних процесів глибинного походження. Загалом сферули були встановлені та досліджені на тридцяти геологічних об'єктах (формаціях). В осадових формаціях України наявність сферул пов'язана з відкладенням первинного пірокластичного матеріалу, а не з процесами перевідкладення. Не виявлено зв'язку з певними літосферними структурами: це можуть бути і консолідовані ділянки, і геодинамічно активні області.
5. Використання сферул як прогнозно-розшукової ознаки обумовлене генетичною близькістю алмазів і сферул з одного боку, а також зв'язком сферул із благороднометалевим та рідкіснометалевим типами експлозивного зруденіння, з іншого боку. Головними напрямами застосування сферул є діагностика експлозивних утворень різних типів, розшук експлозивних структур за ореолами

розсіювання сферул. Перспективним можна вважати зв'язок між характером зруденіння експлозивного типу і якісним складом експлозивної мінеральної асоціації та хімічним складом окремих різновидів сферул. Поряд із сферулами треба відзначити важливу роль супутніх мантійних мінералів як індикаторно-розшукової ознаки, – це муасаніт, кусонгіт, корунд.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових наукових виданнях

1. Флюїдизатно-експлозивні та кластитові формації докембрію Українського щита / Г. Яценко, Є. Сливко, О. Гайовський, В. Кислюк, В. Лавро, І. Яценко // Вісн. Львів. ун-ту, сер. геол. – 2009. – Вип. 23. – С. 19–43. *(Особистий внесок – підготовка та дослідження мінералогічних проб)*.

2. Мінералогічні особливості рудоносних порід чохла Кіровоградського блока Українського щита на прикладі теригенно-глинистої алмазоносної формації / Г. Яценко, М. Кирьянов, Г. Калашник, О. Гайовський , Є. Сливко, І. Яценко, Л. Соломатіна // Мінерал. зб. – 2009. – № 59, вип. 1. – С. 144–159. *(Особистий внесок – підготовка та дослідження мінералогічних проб, інтерпретація результатів мікроаналітичних досліджень)*.

3. Эпохи активизации, рудоносные структуры и формации лампроитового типа в архейских и протерозойских блоках Украинского щита. Статья 1. Западно-Приазовский блок // Г. М. Яценко, С. Н. Бекеша, О. В. Гайовский, И. Г. Яценко // Мін. рес. України. – 2010. – №4. – С. 27-32. *(Особистий внесок – проведення комплексу мікроаналітичних досліджень та написання частини, що стосується сферул та супутніх утворень).*

4. Эпохи активизации, рудоносные структуры и формации лампроитового типа в архейских и протерозойских блоках Украинского щита. Статья 2. Кировоградский блок / Г. М. Яценко, С. Н. Бекеша, О. В. Гайовский, И. Г. Яценко // Мін. рес. України. – 2011. – №1. – С. 25–30. *(Особистий внесок – польові роботи, обробка кам'яного матеріалу, мінералогічні, мікроаналітичні дослідження та їхня інтерпретація)*.

5. Мінеральні особливості та рудоносність флюїдизатно-експлозивних структур (на прикладі Кіровоградського мегаблока) / Г. М. Яценко, С. М. Бекеша, О. В. Гайовський, І. Г. Яценко // Зап. Українського мінерал. тов. – 2011. – Т.8. – С. 234–237. *(Особистий внесок – підготовка та дослідження мінералогічних проб)*.

6. Бекеша С. Особливості морфології та внутрішньої будови мікросферул України / С. Бекеша, І. Яценко // Мінерал. зб. – 2010. – № 60, вип. 2. – С. 89–96. *(Особистий внесок – підготовка полірованих препаратів, мікроскопічні дослідження сферул, інтерпретація результатів дослідження, підготовка комп'ютерної графіки).*

7. Особливості хімічного складу силікатних мікросферул з експлозивних та вулканогенно-осадових формацій України / С. Бекеша, І. Яценко, Н. Білик, Ю. Дацюк, Л. Дручок // Мінерал. зб. – 2011. – № 61, вип. 1–2. – С. 134–145. *(Особистий внесок – аналіз літературних джерел, відбір взірців сферул, підготовка*

полірованих препаратів для мікроаналітичних досліджень, комп'ютерна обробка та інтерпретація результатів дослідження).

8. Ендогенні Ti-Mn-Fe-Силікатні сферули із експлозивних структур та вулканогенно-осадових формацій України / І. Яценко, Г. Яценко, С. Бекеша, Н. Білик, О. Варичев, Л. Дручок // Мінерал. зб. – 2012. – № 62, вип. 1. – С. 83–100. *(Особистий внесок – аналіз літературних джерел, відбір взірців сферул, підготовка полірованих препаратів для мікроаналітичних досліджень, комп'ютерна обробка та інтерпретація результатів дослідження)*.

9. Леткі компоненти в ендогенних сферулах у зв'язку з проблемою флюїдизатно-експлозивного мантійного рудогенезу / І. Яценко , Г. Яценко, І. Наумко, С. Бекеша, Н. Білик, О. Шваєвський // Мінерал. зб. – 2012. – № 62, вип. 2. – С. 189–196. *(Особистий внесок – аналіз літературних джерел, відбір взірців сферул, підготовка полірованих препаратів для мікроаналітичних досліджень, комп'ютерна обробка та інтерпретація результатів дослідження).*

10. Перша знахідка кусонгіту в експлозивних утвореннях України / Н. Білик, І. Яценко, І. Побережська, В. Степанов // Мінерал. зб. – 2014. – № 64, вип. 11. – С. 103–110. *(Особистий внесок – аналіз літературних джерел, відбір взірців сферул, підготовка полірованих препаратів для мікроаналітичних досліджень, комп'ютерна обробка та інтерпретація результатів дослідження)*.

11. Флюїдизатно-експлозивний рудогенез і мінерагенія окраїни Східноєвропейської платформи в межах України / Г. Яценко, С. Бекеша, О. Гайовський, І. Яценко // Мінерал. зб. – 2015. – № 65, вип. 2. – С. 55–61. *(Особистий внесок – аналіз літературних джерел, польові дослідження, підготовка полірованих препаратів для мікроаналітичних досліджень, комп'ютерна обробка та інтерпретація результатів дослідження)*.

Статті у фахових наукових виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз

12. Знахідки силіцидів заліза в Україні. Космогенне чи телуричне походження? / Н. Т. Білик, Ю. С. Маковський, І. В. Побережська, В. Б. Степанов, В. Р. Тимощук, Т. Г. Шевченко, І. Г. Яценко /Геодинаміка. – 2014. – №2 (17). – С. 101111.*(Особистий внесок – ідея написання статті, аналіз літературних джерел, відбір частинок феросиліцію, підготовка полірованих препаратів для мікроаналітичних досліджень, комп'ютерна обробка та інтерпретація результатів дослідження).*

Тези та матеріали доповідей

13. Зв'язок алмазоносних і нафтогазоносних формацій з флюїдизатно-експлозивними процесами на південно-західному перикратоні Східноєвропейської платформи / Г. Яценко, Н. Жабіна, Н. Савицька, Н. Трофимович, І. Яценко // Проблемні питання геологічної освіти та науки на порозі XXI століття: тези доп. наук. конф., присвяч. 60-річчю геол. ф-ту Львів. нац. ун-ту ім. Івана Франка (м. Львів, 19–21 жовтня 2005 р.) – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2005. – С. 128–131.

14. Яценко І. Г. Микросферулы как индикатор флюидизатно-эксплозивных процессов / І. Г. Яценко, С. Н. Бекеша // Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. Судакские геологические чтения II (VII): материалы междунар. науч. - практ. конф. (г. Симферополь – г. Судак, 27 сентября – 3 октября, 2010 г.). – К.: Академпериодика, 2010. – С. 100–101.

15. Флюидизатно-эксплозивные структуры и формации Западноприазовского и Кировоградского блоков / Г. М. Яценко, С. Н. Бекеша, О. В. Гайовский, И. Г. Яценко // Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. Судакские геологические чтения II (VII): материалы междунар. науч. - практ. конф. (г. Симферополь – г. Судак, 27 сентября – 3 октября, 2010 г.). – К.: Академпериодика, 2010. – С. 98–100.

16. Первые данные о химическом составе цирконов из металампроитов трубки «Мрия» (Северо-Западное Приазовье, Украина) / Ф. П. Леснов, Г. М. Яценко, С. Н. Бекеша, И. Г. Яценко // Уральская минералогическая школа: материалы Всерос. науч. конф. студ., аспир, научн. сотр. академ. Институт. и препод. вузов геол. профиля (г. Екатеринбург, 28-30 сентября, 2010 г.). – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – С. 106–107.

17. Яценко Г. Ознаки рудоносності флюїдизатно-експлозивного походження в Передкарпатті / Г. Яценко, Н. Трофимович, І. Яценко // Стан і перспективи сучасної геологічної освіти та науки: тези доп. наук. конф., присвяч. 65-річчю геол. фак-ту ЛНУ імені Івана Франка (м. Львів, нац. ун-ту імені Івана Франка,13-15 жовтня, 2010 р.). – Львів: Видавничий центр Львів. нац. ун-ту імені Івана Франка, 2010. – С. 240–242.

18. Яценко Г. Західний схил Українського щита – зона ендогенної флюїдизатно-експлозивної діяльності й рудогенезу / Г. Яценко, І. Яценко, О. Бучковська // Стан і перспективи сучасної геологічної освіти та науки: тези доп. наук. конф., присвяч. 65-річчю геол. фак-ту ЛНУ імені Івана Франка (м. Львів, нац. ун-ту імені Івана Франка, 13-15 жовтня, 2010 р.). – Львів: Видавничий центр Львів. нац. ун-ту імені Івана Франка, 2010.– С. 243–245.

19. Яценко И. Г. Микросферулы и шлакоподобные частицы ендогенного происхождения в вулканогенно-осадочных формациях Украины / И. Г. Яценко, С. Н. Бекеша, А. С. Варичев // «Минеральные индикаторы литогенеза»: матер. Российского совещ. с междунар. участием (г. Сыктывкар, ИГ КомиНЦ УрО РАН, 14-17 марта, 2011 г.).- Сыктывкар: Геопринт, 2011. – С. 250-253.

20. Эндогенные Ti-Mn-Fe-силикатные сферулы в эксплозивных и вулканогенно-осадочных формациях / И. Г. Яценко, С. Н. Бекеша, Н. Т.Билык, А. С. Варичев // Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах: материалы Российского совещ. с междунар. участием (г. Сыктывкар, ИГ КомиНЦ УрО РАН, 20-22 марта, 2012 г.). – Сыктывкар: Геопринт, 2012. – С. 189-190.

21. Редкоземельный состав цирконов из металампроитов трубки «Мрия» (Западное Приазовье, Украина) / Ф. П. Леснов, Г. М. Яценко, С. Н. Бекеша, И. Г. Яценко // Металлогения древних и современных океанов – 2012. Гидротермальные поля и руды: материалы XVIII науч. молодеж. школы (г. Миасс, 27 апреля, 2012 г.). – Миасс: ИМин УрО РАН, 2012. – С. 279–283.

22. Формы быстрого роста кристаллов окислов титана, марганца и железа в стеклянных сферулах из эксплозивных образований мантийного типа / И. Г. Яценко, С. Н. Бекеша, Н. Т. Билык, А. С. Варичев, Г. М. Яценко // Кристаллическое и твердое некристаллическое состояние минерального вещества: проблемы структурирования, упорядочения и эволюции структуры: материалы минерал. семин. с междунар. участием (г. Сыктывкар, 4–7 июня 2012 г.). – Сыктывкар: Геопринт. – 2012. – С. 212–214.
23. Специфика выделений самородных металлов в эксплозивных образованиях мантийного типа. Самородный вольфрам / И. Г. Яценко, С. Н. Бекеша, Н. Т. Билык, Л. П. Дручок, А. В. Шваєвский // Кристаллическое и твердое некристаллическое состояние минерального вещества: проблемы структурирования, упорядочения и эволюции структуры: материалы минерал. семин. с междунар. участием (г. Сыктывкар, 4–7 июня 2012 г.). – Сыктывкар: Геопринт, 2012. – С. 355-357.
24. Яценко Г. М. Первые данные о пирогенных образованиях в угленосной толще среднего карбона Главной синклинали Донбасса. Перспективы промышленного использования / Г. М. Яценко, Б. И. Якимелин, И. Г. Яценко // Актуальные проблемы геологи, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. Судакские геологические чтения – III (VIII): материалы междунар. науч. - практич. конф. (г. Симферополь – г. Судак, 17–23 сентября 2012 г.). – К.: Академпериодика, 2012. – С. 141–142.
25. Лампроиты, алмазоносность и рудогенез в Кировоградском блоке Украинского щита / Г. М. Яценко, С. Н. Бекеша, О. В. Гайовский, И. Г. Яценко // Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. Судакские геологические чтения – III (VIII): материалы междунар. науч. - практич. конф. (г. Симферополь – г. Судак, 17–23 сентября 2012 г.) – К.: Академпериодика, 2012. – С.34-35
26. Силикатно-металлические эндогенные сферулы в эксплозивных формаціях / И. Г. Яценко, С. Н. Бекеша, Н. Т. Билык, А. В. Шваевский // Моделі утворення алмазу та його корінних джерел. Перспективи алмазоносності Українського щита і суміжних територій: збірн. тез міжнар. наук. конф. (м. Київ, 11–13 вересня, 2012 р.). – К.: Видавництво ТОВ ЦП КОМПРИНТ, 2012. – С. 235–237.
27. Яценко И. Г. Самородные металлы и другие безкислородные соединения эксплозивного происхождения / И. Г. Яценко, С. Н. Бекеша, Н. Т. Билык / Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. Судакские геологические чтения – IV (IX): материалы междунар. науч.- практич. конф. (г. Симферополь – г. Судак, 16–22 сентября 2013г.). – Киев: Академпериодика, 2013. – С. 94–96.
28. О возможных проявлениях алмазов уральского (бразильского) типа на юго-западной окраине Восточно-Европейской платформы / Г. М. Яценко, С. Н. Бекеша, О. В. Гайовский, И. Г. Яценко // Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых: материалы междунар. науч. - практ. конф. Судакские геологические чтения IV (IX) (г. Симферополь – г. Судак, 16–22 сентября 2013). – Киев : Академпериодика, 2013. – С. 9–11.
29. Яценко И. Г. Мантийные сферулы и гиалокласты эксплозивного происхождения в палеогеновых отложениях Скибовой зоны Карпат / И. Г. Яценко,

С. Н. Бекеша, Н. Т. Билык // Континентальний неовулканізм альпійської складчастої зони Східної Європи: матеріали міжнар. науч. - практич. конф (м. Київ, 4–5 березня, 2013 р.). – К.: Принт-Сервіс, 2013. – С. 55-56.

30. Магматизм і флюїдизатно-експлозивні прояви неовулканізму в зв'язку з рудоносністю Прикарпатських структур / Г. М. Яценко, С. М. Бекеша, О. В. Гайовський, І. Г. Яценко // Континентальний неовулканізм альпійської складчастої зони Східної Європи : матеріали міжнар. наук. - практ. конф. (м. Київ, 4–5 березня, 2013 р.). – К.: Принт-Сервіс, 2013. – С. 29–31.

31. Мантийное вещество эксплозивного происхождения в осадочных формациях Карпатского региона, связь с проблемами нефтегазоносности и рудоносности / И. Г. Яценко, Н Т. Билык, Р.С. Кудеравец, В. Р. Тимощук, О. В. Шваєвский // Геодинаміка; Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища: матеріали V міжнар. наук. конф. (м. Львів, 1-4 жовтня, 2013 р.). – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013 – № 15, вип. 2. – С. 72-74.

32. Флюидизатно-эксплозивные процессы и минерагения юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы / Г. М. Яценко, С. Н. Бекеша, О. В. Гайовський, И. Г. Яценко Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений: мемориальн. Всерос. конф**.** посвященная 100-летию со дня рождения академика Николая Алексеевича Шило (г. Москва, 15-18 октября, 2013г.). – М:, ИГЕМ РАН, 2013. – С. 63.

33. Перша знахідка кусонгіту в експлозивних утвореннях України / Н. Білик, І. Яценко, І. Побережська, В. Степанов // Мінералогія: сьогодення і майбуття: матеріали VIII наукових читань академіка Євгена Лазаренка (м. Львів-Чинадійово, 11-14 вересня, 2014 р.). – Львів: Вид-во ЛНУ ім. Івана Франка, 2014. – С. 181-183.

34. Особливості мінерагенії південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи (від схилу Українського щита до Карпат) / Г. Яценко, С. Бекеша, О. Гайовський, І. Яценко // Мінералогія: сьогодення і майбуття: матеріали VIII наукових читань академіка Євгена Лазаренка (присвячена 150-річчю заснув. каф. мінералогії у Львів. ун-ті (м. Львів-Чинадійово, 11-14 вересня, 2014 р.). – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2014. – С. 179–181.

Інтернет-видання матеріалів доповідей

35. Яценко И. Г. Микросферулы, шлакоподобные частицы, самородные металлы в эксплозивных структурах и вулканогенно-осадочных формациях Украины / И. Г. Яценко, С. Н. Бекеша, А. С. Варичев // Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма. «Щелочной магматизм Земли»: тезисы междунар. конф. (г. Минск, 12-16 сентября, 2011г.). – Минск, ГЕОХИ РАН, 2011. – С. 211-212.*(http://alkaline.web.ru/2011/Abstracts/Yatsenko_rus.htm).*

36. Composition of volatile components in endogenous spherules / I. G. Yatsenko, G. M. Yatsenko, I. M. Naumko, S. N. Bekesha, B. E. Sahno // Ore potential of alcaline, kimberlite and carbonatite magmatism: abstracts of XXX international conference "Alcaline magmatism of the Earth" (Moscow, 16–17 September, 2013). – M.: GEOHI RAN, 2013. – P. 62–63.*(http://alkaline.web.ru/2013/abstracts/Yatsenko.htm).*

АНОТАЦІЯ

Яценко І. Г. Силікатно-металеві сферули експлозивно-осадових алмазоносних формацій України (генетичні та прогнозно-розшукові аспекти). – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.11 – геологія металевих і неметалевих корисних копалин. – Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, 2016.

Дисертація присвячена проблемам походження та поширення силікатно-металевих сферул у геологічних формаціях України. На основі геолого-структурних, геохімічних і мінералогічних досліджень доведено ендогенну природу досліджених сферул та супутніх глибинних мінералів (кусонгіт, муасаніт, корунд), пов'язаних із рудогенними експлозивними процесами мантійного походження. Аналіз отриманих даних і опублікованої наукової інформації показав перспективність флюїдизатно-експлозивних комплексів порід з точки зору як їхньої алмазоносності, так і благороднометалевого та рідкіснометалевого зруденіння. У роботі сформульовано науково-методологічні основи використання сферул у геолого-розшукових роботах за трьома найпріоритетнішими напрямами: діагностика флюїдизатно-експлозивних утворень, розшуки експлозивних структур за ореолами розсіяння сферул, прогноз імовірного типу зруденіння, пов'язаного з флюїдизатно-експлозивними процесами.

Ключові слова: сферули, самородні метали, інтерметалеві сплави, флюїдизатно-експлозивні процеси, експлозивні структури, алмаз, кімберліти.

АННОТАЦИЯ

Яценко И. Г. Силикатно-металлические сферулы эксплозивно-осадочных алмазоносных формаций Украины (генетические и прогнозно-поисковые аспекты). – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.11 – геология металлических и неметаллических полезных ископаемых. – Львовский национальный университет имени Ивана Франко, Львов, 2016.

Диссертация посвящена проблемам происхождения и распространению сферул в геологических формациях Украины. На основании геолого-структурных, геохимических и минералогических исследований доказано, что сферулы и сопутствующие глубинные минералы (кусонгит, муассанит, корунд) имеют эндогенную природу и связаны с рудогенными эксплозивными процессами мантийного происхождения. В роботе сформулированы научно-методические основы использования сферул в геолого-поисковых работах по трем наиболее приоритетным направлениям: диагностика флюидизатно-эксплозивных образований, поиски эксплозивных структур по ореолам рассеивания сферул, прогноз возможного типа оруденения, связанного с флюидизатно-эксплозивной деятельностью.

Ключевые слова: сферулы, самородные металлы, интерметаллические сплавы, флюидизатно-эксплозивные процессы, эксплозивные структуры, алмаз, кимберлиты.

SUMMARY

Yatsenko I. G. Silicate- metallic spherules of explosive-sedimentary diamantiferous formations of Ukraine. – Manuscript copyright.

Thesis for PhD degree in Geological Science, specialty 04.00.11 - Geology of Metallic and Nonmetallic Minerals". – Lviv National Ivan Franko University, Lviv, 2016.

The results of investigations of different spherule types collected from different geological formations of Ukraine are presented in the dissertation. Spherules are small-sized spherical-shaped mineral objects. The commonest spherules variety are silicate, metal-silicate and metallic one. There are three variants of emplacement model of spherules origin – cosmogenic, impact and edogenous. Spherules were founded in the majority of known kimberlite-lamproite structures on the Ukrainian Shield (pipe "Mriya", pipe "Pivdenna", dykes of Shchors site, explosive structures of Kirovograd-Smiela field) and explosive structures of controversial origin (Zelenyi-Gay, Bovtyshka, Belylivka). The new spherule founds at Arkhangelsk diamond province (pipes "Karpinska" and "Pomorska") and Yakutian province have been studied as well. In addition, many spherule occurrences were founded related to volcaniclastic, volcanic-sedimentary and sedimentary formation of geotectonic structure of Ukraine.

Microscopic study of thousands spherule examples enabled to distinguish morphological varieties of different spherule types. Microprobe analysis has widely been used because it is more appropriative instrumental method to study chemical, mineralogical composition and structural features of spherules. Base on the results of these investigations the general classification of spherule varieties is proposed. Spherule assemblage was subdivided into two distinct classes. The study showed that such division has strong genetic connotations. Class 1 includes two main types such as silicate spherules and metallic one. Two common varieties of silicate spherules of Class 1 are Ti-Mn-Fe-silicate (TMIS-Sph) and Ca-silicate (CS-Sph). Silicate spherules may incorporate native iron core or fine dispersed metal phase. Mg-rich, Mn-rich, Al-Fe-rich and other varieties of silicate spherules are less common and can be regarded as subsidiary or transitional one. By dominating component, metallic spherules of Class 1 were classified on the such subtypes: iron (magnetite-iron), copper, lead and gold-silver spherules. Ferrosilicon spherules partly can be attributed to metallic one as well. Mass spectrometric analysis of volatile content of Class 1 spherules showed a lack of water. Common component of spherule gas composition is nitrogen, in some cases considerable amounts of hydrogen and light hydrocarbon occur.

Spherules of Class 2 are typified by variable composition with variable proportions of common components (SiO_2, $Al2O_3$, Fe_2O3) and subsidiary constituents (Na_2O, K_2O, CaO, MgO); it is quite common for such glass to contain rounded quartz and feldspar grains which have been partially dissolved in silicate melt. By some authors, this type is also termed "scoriaceous spherules" (Taylor et al., 2000). Oxygen-free mantle-derived minerals such as moissanite, qusongite (WC), diamond in the majority of cases occur in association with Class 1 spherules as a juvenile component of volcaniclastic explosive deposits. Explosive corundum type can also be attributed to mantle minerals because it incorporates coexisting spherical inclusions of native iron, ferrosilicon and amoeboid inclusions of amorphous oxide and metallic phase of Ti-Zr-Si-Al-Fe system. Mantle minerals and Class

1 spherules are proposed to combine together in a single explosive mantle mineral association. The origin of these particles is interpreted as related to mantle fluidized-explosive processes. The main proof of endogenous (telluric) nature of Class 1 spherules is purely geological evidence. Spherules are the unequivocal igneous component of not redeposited kimberlitic rocks varieties such as massive volcaniclastic kimberlites and magmatic kimberlites, MVK and MK by Sparks et al. (2006) or tuffisitic kimberlites by Zinchenko et al. (2012). The chemical composition of studied spherules excludes the possibility of cosmogenic and impact origin. Spherules are strongly enriched by Ti and Mn or Ca (up to 40%). The content of Ti and Mn in meteoritic matter is <0.5%. Ca content is commonly in a range of 0.5-3%. Meteorite iron is typified by Ni and Co admixtures with lack of Ti, Mn, Cr, Ca. Native iron of TMIS-Sph contains Ti, Mn, Cr, Cu admixtures in some cases Ca. Ca is common admixture in native iron microinclusions of CS-Sph. It is difficult to interpret spherules nature as a product of vitrification of country rocks caused by falling of the cosmic body. Compositions of studied spherule types do not correspond to any known rock types. From this point, strongly reduced conditions of spherule formation are also unexplained. Therefore, the endogenous telluric origin of spherules seems undisputable. Though interrelations between spherules and explosive host rocks are not clear. Extremely high-temperature and strongly reduced condition of spherule primary melt enables to propose deep model of spherule origin that is related to mantle-core transition zone. The stable equilibrium state of oxide silicate and metallic (native iron) phases can be expected in this zone.

The simplest explanation of Class 2 glass nature is that they are the product of host rocks melting caused by thermal effect (pyrometamorphism). In some examples of spherules, metallic grains occur; this indicates that the process is characterized by reducing conditions. Various scenarios of Class 2 origin are proposed. Appropriate high temperature conditions may be caused by some endogenous and exogenous processes such as penetration of high temperature explosive flows, mud volcano activity with hydrocarbon burning, combustion of coal deposits, forest fires, lightning strikes. In many cases, Class 1 and Class 2 of spherules occur together, but their relationships are not fully understood.

Spherules were discovered in thirty different geological objects (formation) of Ukraine. As suggested by study spherules commonly occur in volcaniclastic rocks that infill explosive structures as well as in pyroclastic deposits from beyond the explosive structures and occasionally in terrestrial sedimentary deposits as pyrogenic admixture. There are many examples where spherules occur in different non-kimberlitic explosive formation. Kimberlite-lamproite pipes are a particular example of more common natural phenomenon i.e. Earth explosive activity. It was found that explosive-fluidisation processes lead not only to forming of diamond- bearing rocks, but also can provide forming of ore deposits. The permanent presence of spherules in ore explosive formations enables to propose to use them as an indicator in searching and prospecting various types of ore deposits with gold, silver, PGE and TR mineralization. Spherule studying may have great significance on those aspects that concerning Earth’s architecture and problems of fluidizate-explosive ore genesis of mantle origin.

Keywords: spherules, native metals, intermetallic alloys, fluidized-explosive processes explosive structure, diamond, kimberlites.