

УДК 549(477)

ОСОБЛИВОСТІ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СИЛІКАТНИХ МІКРОСФЕРУЛ ІЗ ЕКСПЛОЗИВНИХ ТА ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОВИХ ФОРМАЦІЙ УКРАЇНИ

С. Бекеша¹, І. Яценко¹, Н. Білик¹, Ю. Дацюк¹, Л. Дручок²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка
79005 м. Львів, вул. Грушевського, 4
E-mail: mineral@franko.lviv.ua

²Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України
79053 м. Львів, вул. Наукова, 3а
E-mail: igggk@ah.ipm.ua

Наведено результати вивчення хімічного складу специфічних скляних утворень (сферул) з різноманітних товщ України. На підставі результатів мікрозондового аналізу виділено два типи сферул: ендегенні, що утворились за високопараметричних умов, та мікросферули проблемного походження, які сформувалися за порівняно низької температури. За хімічним складом скляні ендегенні сферули поділяють на два головні класи: кальцій-силікатні й титан-залізо-манган-силікатні. Комплекс даних свідчить про зв'язок ендегенних мікросферул з мантійними флюїдизатно-експлозивними процесами.

Ключові слова: сферула, скло, хімічний склад, експлозивний процес, флюїдизатно-експлозивна структура, Україна.

Ця праця є продовженням цікавої теми дослідження мікросферул, знайдених в експлозивних та різновікових вулканогенно-осадових товщах на теренах України. У першій частині [3] наведено характеристику загальних аспектів поширення мікросферул у геологічних формаціях України, особливості їхньої морфології та внутрішньої будови. Як зазначено, за складом їх поділяють на два головні класи: рудні (*I*-тип) і силікатні (*G*-тип), хоча дослідження засвідчили, що звичайно вони трапляються сумісно й часто утворюють гібридні гетерофазові типи. Не викликає сумніву, що вони є продуктом спільних геологічних процесів. Особливий інтерес до сферул мотивований фактом наявності їх у кімберлітових і лампроїтових породах експлозивних та інших структур, пов'язаних з флюїдизатно-експлозивними процесами [2].

Дослідження колективу авторів ґрунтуються на даних мікрозондового вивчення колекції сферул з низки характерних геологічних об'єктів України. У сферу вивчення також залучено специфічні шлакоподібні уламки невизначеного походження, що зрідка трапляються в різних місцях, переважно в четвертинних і кайнозойських відкладах. Як і сферули, ці утворення складені з переплавленої речовини, відрізняються більшим розміром і не мають сферичності. Завдяки силам поверхневого натягу сферули здатні досягати розміру 2 мм; зі збільшенням маси речовини вони набувають неправильної форми, тому їх можна вважати об'єктами одного порядку. Додатково проаналізовано частинки техногенного походження (вугільний шлак, залишки вогнища) і вулканічного скла. Аналізи виконано в лабораторії геологічного факультету Гейдельберзького університету

(Німеччина, аналітик О. Варичев) у 2010 р. та Московському університеті імені М. Ломоносова у 1990-х роках. Рентгеноструктурні дослідження проводили в міжкафедральній лабораторії геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка упродовж 1990–2011 рр.

Аналіз результатів мікрозондового дослідження засвідчив, що за комплексом структурних ознак і особливостями хімічного складу всі сферули можна розділити на дві головні групи. Основною загальною особливістю першої групи є гомогенність і однорідність складу. Це характерно і для силікатної фази (скло), і для рудної (магнетит, самородне залізо) (рис. 1, а, б).

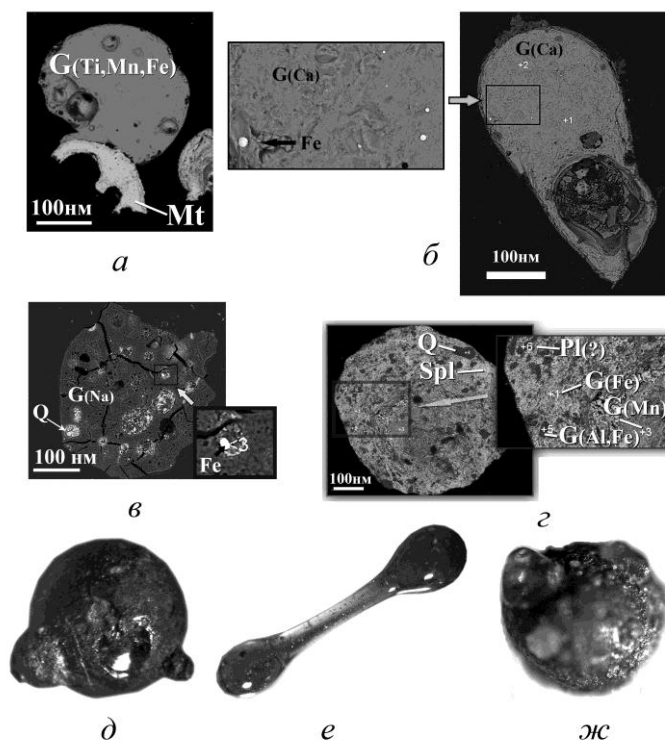


Рис. 1. Внутрішня будова і склад мікросферул за даними мікрозондового аналізу (а–г) та морфологія різних типів мікросферул (д–ж):

а – гетерофазова Ti-Fe-Mn-силікатна сферула з фрагментом рудної магнетитової фази (проба А-693/II); б – кальцій-силікатна сферула з вкрапленням самородного заліза (проба ВГ-1/І); в – сферула другого типу з Na-силікатного скла з включеннями кварцу й самородного заліза; г – сферула другого типу, основна маса представлена склом різноманітного складу з включеннями зерен кварцу і плагіоклазу; д – високотитанова силікатна сферула (трубка “Мрія”, проба 189-А-1); е – висококальцієва силікатна сферула гантелеподібної форми (проба А-603/II); ж – сферула другого типу (проба ІІ-49).

Для другої групи типовою є невтриманість складу скла в межах одного об’єкта (див. рис. 1, в, г), наявність оплавлених частинок мінералів (кварц, плагіоклаз), інколи спостерігають агрегат із дуже дрібної суміші скла та рудної речовини. Сферули першої групи мають тенденцію утворювати правильну сферичну форму та її похідні: еліптичну, гантелеподібну (див. рис. 1, д, е). Ступінь сферичності сферул другої групи значно мен-

ша (див. рис. 1, ж). Перший тип трапляється в усіх геологічних вікових рівнях, другий – винятково у четвертинних, можливо, неогенових верствах. Очевидно, що ці типи формувались за різних фізико-хімічних умов з різного первинного джерела речовини.

За хімічним складом скло сферул першої групи можна поділити на два типи: Са-силікатний та Ti-Fe-Mn-силікатний (табл. 1).

Висококальцієве скло звичайно прозоре, жовтуватих, коричневих, зелених відтінків. За формою сферул можна дійти висновку, що воно мало низьку в'язкість і було тягучим.

Високотитанисте скло темних відтінків непрозоре, здатне утворювати більші за розміром пухирчасті частинки неправильної форми. В окремих випадках у склі визначено емульсійне самородне залізо, дрібні кристали ульвошпінелі, сферичні агрегати сульфиду мангану.

Порівняльний аналіз хімічного складу мікросферул України, сферул із кімберлітів Якутської діамантоносною провінції та сферул флюїдизатно-експлозивного походження Камчатського регіону дав змогу виявити аналогічну картину (рис. 2).

З іншого боку, ці типи є **унікальними** щодо складу скла сферул з відомих геологічних об'єктів світу, а також імпаکتного скла і скла тектитів (табл. 2).

Високотитанове скло (вміст Ti – до 10 %) визначили в одному випадку в лампроїтах Австралії [6].

Таблиця 1

Склад петрогенних елементів у мікросферулах першого типу, мас. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	43,33	43,12	42,78	41,42	43,44	43,29	58,58	43,03	43,25
TiO ₂		0,20	0,28	0,34	0,19	0,31	0,96	0,56	0,62
Al ₂ O ₃	7,85	7,75	7,83	7,46	5,85	6,14	22,42	10,98	10,75
Fe ₂ O ₃	0,84	0,98	0,99	0,73	0,95	0,89	11,95	2,54	2,72
MnO	0,66	0,51	0,73	0,78	1,00	1,12			
MgO	4,14	4,18	3,95	4,21	3,83	3,74	1,21	16,50	16,30
CaO	38,32	38,64	38,75	40,71	40,99	40,79	1,50	22,80	22,83
Na ₂ O	0,87	0,85	0,81	0,82	0,56	0,54	0,71	0,46	0,42
K ₂ O	0,94	0,97	0,98	0,69	0,63	0,61	2,68	3,16	3,17
SO ₃	2,77	2,79	2,90	2,84	2,57	2,58			

Компонент	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO ₂	74,01	37,56	43,49	46,28	47,86	46,85	50,33	52,01
TiO ₂		0,31	0,56	0,57	0,34	0,84		
Al ₂ O ₃	1,36	8,24	19,83	18,89	10,71	13,88	8,29	7,40
Fe ₂ O ₃	0,18	0,66	1,14	0,84	0,73	6,97		
MnO		1,01	0,27	0,17	1,24	0,20	7,82	9,30
MgO	3,70	1,80	1,44	1,33	3,18	6,79	5,71	5,07
CaO	7,62	45,68	32,58	30,98	33,38	20,25	19,76	18,28
Na ₂ O	12,7	0,44	0,10	0,16	0,19	3,20	1,39	1,44
K ₂ O	0,05	0,52	0,09	0,09	0,12	1,03	2,86	3,11
P ₂ O ₅		0	0,32	0,54	0			
SO ₃	0,36	3,77	0,18	0,13	2,28		2,46	2,20

Закінчення табл. 1

Компо- нент	18	19	20	21	22	23	24	25	26
SiO ₂	27,46	26,41	41,26	23,03	22,89	23,16	52,25	51,93	59,80
TiO ₂	27,11	28,23		7,40	7,30	7,50	2,87	2,73	1,72
Al ₂ O ₃	4,98	5,03	11,55	7,70	7,86	7,53	12,36	12,25	8,78
Fe ₂ O ₃	10,88	10,38	16,19	3,27	3,28	3,45	14,73	15,03	0,54
MnO	19,10	19,35		4,15	4,09	4,10	0,28	0,32	0,28
MgO			0,72				5,20	5,07	0,46
CaO	6,62	6,82	22,61	42,51	42,45	43,55	9,01	9,39	7,68
Na ₂ O	1,22	1,26	0,30				2,49	2,41	17,30
K ₂ O	2,13	1,90	0,49				0,81	0,86	1,91
P ₂ O ₅			6,87						0
SO ₃									0,33
F				11,90	12,10	10,70			

Примітки: 1–3 – с. Путринці, проба А-603/2; 5, 6 – с. Казавчин, проба ВГ-1/1; 7–9 – с. Водники, проба И-66; 10–14 – с. Орховичі, проба А-927; 15 – с. Котовка, проба И-57; 16, 17 – м. Севастополь, проба А-924/4; 18, 19 – проби зі св. Бориня-3 (Львівська обл.); 20 – с. Іване-Золоте, р. Луга, проба А-695; 21–26 – Білокоровицька структура (Волинський блок); 21–23 – проба 1406/3; 24, 25 – проба 1409/2; 26 – проба 1409/4. Тут і далі сірим кольором у таблицях позначено характерний високий вміст елементів у сферулах визначеного ендегенного походження.

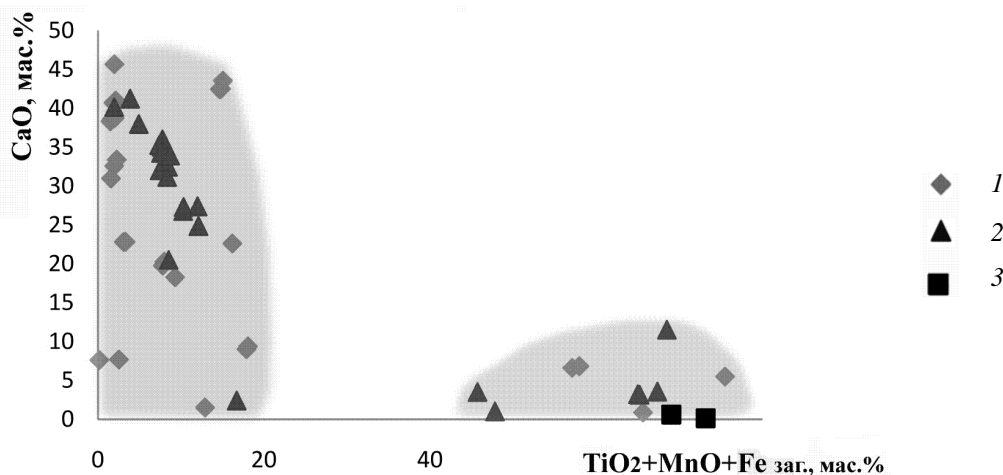


Рис. 2. Розподіл складу скла досліджуваних силікатних мікросферул першого типу і шлакоподібних уламків (1), силікатних мікросферул із кімберлітів Якутської діамантоносної провінції (2) та силікатних сферул з вулкана Баранського на Камчатці (3).

В окрему категорію треба виділити сферули специфічного типу, відшукані в туфах перекальської світи Волині (св. 49). Вони складені з крихкої склоподібної речовини, прозорі, оранжевого кольору. Окрім самих сферул, простежують явище просякання аналогічною речовиною уламків породи, де характерна зональність свідчить про явище метасоматичного впливу на первинну породу. Мікроспектральним аналізом у складі сферул виявлено тільки кальцій і сліди кремнію, аніонну групу не визначено. Методом

виключення можна припустити, що ця речовина є флюоритовим склом. Сферули з високим вмістом фтору також зафіксовані у пробі 1406/3, %: F – 10, Si – 22, Ca – 43.

Таблиця 2

Склад сферул і подібних утворень з різних регіонів світу, мас. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	43,33	27,46	12,77	39,74	37,10	81,31	72,10
TiO ₂	0,27	27,10	25,94	0,60	23,10	0,53	0,63
Al ₂ O ₃	7,85	4,98	4,89	11,41	5,90	10,96	9,14
Cr ₂ O ₃	0	0	0,09	0,32	0,02	0	0
FeO	0,84	10,90	38,00	2,34	11,40	2,43	8,59
MnO	0,66	19,10	9,23	1,98	11,20	0	0
MgO	4,14	0	4,00	1,01	3,80	0,53	4,75
CaO	38,30	6,62	0,14	38,00	3,50	0,50	1,10
Na ₂ O	0,87	1,22	1,25	0,93	3,20	1,50	1,00
K ₂ O	0,94	2,13	1,33	0,74	5,40	2,17	1,75

Компонент	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	68,70	41,30	47,00	48,30	73,00	49,54
TiO ₂	0,63	4,60	0,18	0,11	1,20	1,05
Al ₂ O ₃	13,30	4,90	3,42	2,42	13,00	22,53
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0,53	0	0
FeO	6,33	11,10	10,50	6,60	2,40	1,70
MnO	0	0	0,27	0,32	0,20	0,88
MgO	3,82	5,10	35,50	30,10	0,20	2,25
CaO	3,74	6,80	2,97	1,48	2,10	3,22
Na ₂ O	0,92	2,40	0	0	0,50	0,62
K ₂ O	2,00	18,7	0	0	5,50	2,93

Примітки: 1–4 – скляні сферули: 1 – район с. Білокоровичі, 2 – св. Бориня-3, гл. 2 480 м, 3 – півострів Камчатка [10], 4 – Якутія, трубка “Мир” [9]; 5 – шлакоподібне скло, трубка “Мир” [9]; 6 – мікротектити, шт. Техас, США [18]; 7 – мікроіргізити, кратер Жаманшин [17]; 8 – тектити, Індійський океан, матеріали Б. Гласса; 9 – включення скла в алмазі [15]; 10, 11 – сферули з льодовика: 10 – Антарктида [21], 11 – о. Нова Земля [12]; 12 – сферули з поверхні Місяця [7]; 13 – шлак вугілля.

У сферулах другої групи склад скла достатньо змінний, однак головно залізо-алюмінієвий, що однозначно відрізняє їх від сферул першої групи (табл. 3, рис. 3). Зовсім відмінні показники можна простежити в межах одного зерна. Близьким за складом виявилось скло зі шлаків, які утворилися внаслідок горіння кам’яного вугілля. Сферулоподібні утворення, виділені з попелу згорання звалища техногенного сміття, мають достатньо невитриманий склад. Високий вміст кальцію можна пояснити наявністю карбонатної речовини у первинному матеріалі плавлення.

Методом рентгеноструктурного аналізу у високотитанових сферулах лампроїтової трубки “Мрія” (Західне Приазов’я) та лампроїтів Щорсівської ділянки (Кіровоградський блок УЩ) визначено армолколіт і гейкіліт. Зазначимо, що армолколіт визначали раніше, він є характерним мінералом подібних утворень, а гейкіліт виявлено вперше. У високо-

кальцієвих різновидах також уперше відшукали силіманіт. Низку специфічних мінералів виявлено у шлакоподібних утвореннях з четвертинних відкладів Білорусі: плагіоклаз, Mg-Mn-вюстит, самородне залізо, ферипериклаз(?), магномагнетит, мервініт, монтічеліт, портландит, інтерметалеві сполуки. Вмісне скло висококальцієвого складу містить монтічеліт, характерний для кімберлітів.

Таблиця 3

Вміст петрогенних елементів у склі мікросферул другого типу, мас. %

Компо- нент	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	47,02	46,78	46,78	34,63	53,33	44,57	50,29
TiO ₂	0,74	1,40	1,09	0,88	1,44	0,84	0,81
Al ₂ O ₃	25,60	27,10	26,60	23,20	26,70	19,90	13,90
Fe ₂ O ₃	10,12	12,91	8,50	34,51	4,66	13,30	20,86
MnO						0,37	0,50
MgO		3,40	5,67	0,48	3,89	2,38	4,03
CaO	12,80	5,64	9,37	0,60	6,70	15,90	5,60
Na ₂ O	2,04	0	0,70	2,90	0,61	0,30	1,68
K ₂ O	1,67	2,53	0,86	2,00	2,10	1,42	1,78
P ₂ O ₅		0,26	0,46			0,98	0,55
SO ₃					0,54		

Компо- нент	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	20,87	53,07	57,59	18,06	25,32	43,11	67,26
TiO ₂	0	0,59	0,63	0,88	1,06	0,39	0
Al ₂ O ₃	0,99	20,80	22,40	6,66	12,50	30,90	18,20
Fe ₂ O ₃	76,34	19,70	7,34	64,35	29,76	11,28	1,39
MnO				2,83	20,56	0,15	0
MgO	0,12	0,81	0,74	1,03	1,65	10,50	0
CaO	0,89	2,57	5,82	2,33	2,85	0,41	0,21
Na ₂ O	0,20	0,66	1,93	0,14	0,45	3,01	12,70
K ₂ O	0,48	1,73	2,99	1,02	1,81	0,08	0,07
P ₂ O ₅			0,53	2,51	2,21	0,17	0,13
SO ₃				0,18	1,07	0	0

Примітки: 1 – с. Путринці, проба А-603/2; 2–4 – с. Котовка: 2, 3 – проба И-57, 4 – проба И-54; 5–7 – с. Тарнава, проба А-1005/1; 8–10 – с. Казавчин, проба ВГ-1/1; 11–14 – с. Бандурове, проба И-42/5.

Загалом для сферул і близьких утворень з експлозивних структур території України типова специфічна мінеральна асоціація (табл. 4), у якій найбільше поширені мінерали титану. Аналогічну ситуацію зафіксовано у сферулах з кімберлітів Якутської діамантоносної провінції і туфоїдних верств Камчатського регіону.

Зазначимо про існування певної асиметричної ситуації – сферули, описані для території України, не містять ні олівіну, ні піроксену. З іншого боку, ці мінерали є звичайними для сферул G-типу, значно поширених у світі: у палеогенових відкладах Атлантики й Карибського басейну [18], у палеоценових відкладах Гренландії [15], у льодовиках Антарктиди [21] і Нової Землі [12].

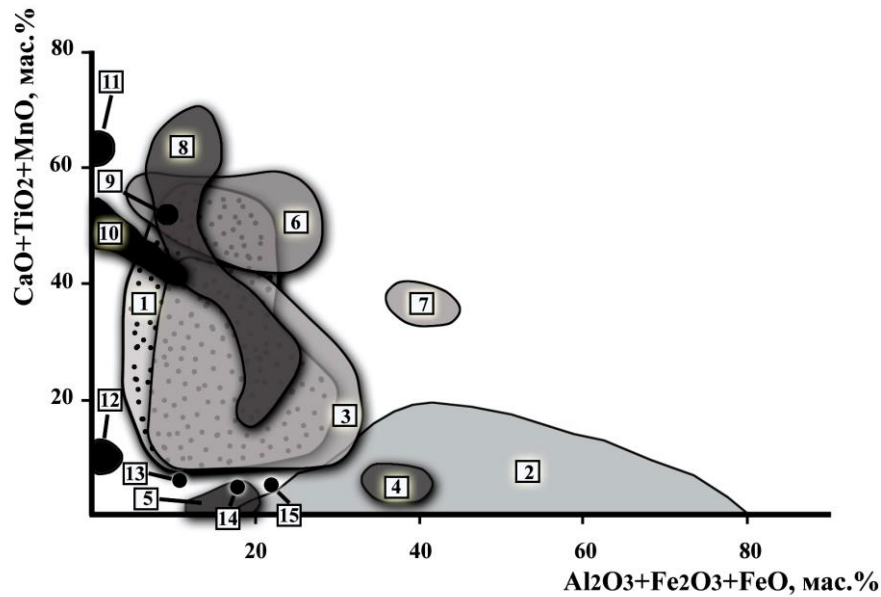


Рис. 3. Положення сферул різного типу на бінарній діаграмі
($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$)–($\text{CaO}+\text{TiO}_2$):

1–3 – сферули: 1 – першого типу, 2 – другого типу, 3 – з попелу вогнища; 4 – шлак кам'яного вугілля; 5 – вулканічне скло, Камчатка; 6 – металургійний шлак; 7 – сферули з вулкана Баранського, Камчатка [10]; 8 – сферули з кімберлітових трубок Якутії [9]; 9–12 – шлакоподібні утворення невизначеного походження: 9 – с. Нагольна Тарасівка, Донбас; 10 – м. Новогрудок, Західна Білорусь, взірець А-107/1; 11 – с. Ганнівка, Криворіжжя, взірець А-129; 12 – Черкаська обл., взірець А-124; 13–15 – середній склад гірських порід [8]: 13 – кімберлітів, 14 – осадових порід, 15 – вивержених порід. Аналізи 1–5 виконані у Гейдельберзькому університеті (Німеччина), аналітик О. Варичев, 9–12 – у Московському державному університеті імені М. Ломоносова.

На підставі порівняння комплексу характерних ознак сферул двох основних груп можна впевнено стверджувати, що для утворення сферул першої групи потрібен достатній об'єм однорідної за складом розплавленої речовини з досить високою температурою. Зазначимо, що на останніх стадіях виробництва звичайного скла температуру підвищують до 1 600 °С для утворення однорідного розплаву й виходу газів. Про високу температуру розплаву свідчать наявність у ньому заліза в рідкій формі й те, що сам розплав був дуже рідким, щоб зумовити утворення мікроскопічних краплинок. Ідеальна сферична форма сферул першої групи є ознакою того, що вони формувалися й застигли у флюїдному середовищі.

Дуже інформативним виявився аналіз флюїдної складової сферул першого типу з вибухових структур [4]. З'ясовано, що ступінь відновності флюїду завдяки високому вмісту водню й метану, порівняно з вуглекислим газом, вищий, ніж в алмазі найбільш глибинного генезису. Це доводить, що агентами формування первинного розплаву були глибинні мантіїні флюїди. З іншого боку, це відкидає можливість походження сферул унаслідок імпаکتного удару. Удар імпактора не може перетворити летку складову порід мішені (звичайних гірських порід) на водень і метан. Дуже важливим є також факт, що у складі флюїдної фази майже нема води. Таке явище у природі рідкісне й зафіксоване тільки у склі тектитів [5].

Таблиця 4

Наявність мінералів у склі мікросферул з експлозивних структур та осадово-пірокластичних відкладів України

Район, сферуловмісні породи	Тип силікатного скла, що містить мінеральні включення	Номер проби, взірця, свердловини	Мінерали
Неоген-четвертинні відклади, с. Нагольна Тарасівка, Донбас	Шлакоподібне скло (Са – 40–60 %)	71/15-17	Мп-вюстит, апатит
Балка Недавнокова	Шлакоподібне скло	A-129	Вюстит
Четвертинні піски, галька, м. Новоградок Гродненської обл., Білорусь	Шлакоподібне скло (Са – 30–50 %)	A-107/1	Плагіоклаз, Mg-Мп-вюстит, самородне залізо, ферипериклаз (?), магномагнетит, мервініт, монтичеліт, портландит, інтерметалеві сполуки (?)
Колновіальні відклади, с. Путринці, околиці м. Ізяслав	Сферули, складені прозорим склом жовтувато-бурого кольору (Са – 40 %)	A-603	Самородне залізо (емульсійне), силіманіт
Палеогенові верстви, с. Бориня Турківського р-ну Львівської обл.	Непрозоре шлакоподібне темне скло	Св. Бориня-3, гл. 2 475 м	Ст-Ті-Мп шпінель
Східний борт Білокозовицької структури, Житомирська обл.	Сферули, складені напівпрозорим темно-буриим склом	Св. 1 406, проба 1406/3	Магнетит, самородне залізо
Лампроїтова трубка "Мрія", Західне Приазов'я	Сферули та шлакоподібні уламки, складені непрозорим темним високотитановим склом	A-189/1	Гейкіліт, армолколіт
Лампроїтові дайки Щорсівської ділянки, Кіровоградська обл.	Шлакоподібний уламок темного непрозорого високотитанового скла	C-001	
Кімберлітові брекчії, Східне Приазов'я [4]	Непрозорі шлакоподібні частинки		Ульвошпінель, ільменіт, армолколіт, рутил, олівін, вюстит, самородне залізо
Бовтиська кільцева структура [4]	Прозорі шлакоподібні частинки		Перовськіт, муасаніт, силіциди заліза, самородне залізо, оксиди титану
	Непрозорі шлакоподібні частинки		Гіперстен, плагіоклаз, калієвий польовий шпат
Білилівська (Західна) кільцева структура [1]	Загартовані частинки, складені склом зі скелетними кристалами рудних мінералів		Мп-армолколіт, ульвошпінель, вюстит, ільменіт, самородне залізо
Неоген-четвертинні туфогенні верстви, район м. Севастополь	Зеленкуваті шлакоподібні частинки	A-924/4	Сульфід мангану

Звернемо увагу на особливу різницю між будовою кальцієвих і титанових сферул. На поверхні титанових сферул помітно кратероподібний рельєф, спричинений дегазацією розплавленого скла. Протилежне явище властиве висококальцієвим сферулам – об'єм включень більший, ніж об'єм газу, що міститься в них; це пояснюють дуже великою швидкістю застигання скла. Ще одна особливість висококальцієвих сферул – різноманіття форми: окрім сферичної, досить часто трапляється еліптична, гантелеподібна, форма веретена і колби. Високотитанові сферули консервативніші щодо форми і здебільшого сферичні. Стосовно краплеподібної форми, то загальноприйнята думка, що вона зумовлена аеродинамічними чинниками. У нашому випадку під час аналізування всієї сукупності форм виявлено, що це тільки різновид перерозвинутої гантелеподібної форми.

Увесь комплекс геологічних та геохімічних даних переконливо свідчить про ендогенну природу сферул першої групи, що підтверджене виявленням їх у глибинних експлозивних породах кімберлітового й лампроїтового типу. У перевідкладених товщах сферули завжди наявні в асоціації з глибинними високопараметричними мінералами флюїдизатно-експлозивного походження, а також з унікальною групою самородних металів і металоїдів.

Склад вивчених сферул різко відрізняється від основної маси сферул, описаних у літературі, з одного боку. З другого боку, він є тотожним складові сферул з кімберлітів Якутської діамантоносною провінцією [9], кімберлітової трубки Катока (Ангола) [11], кімберлітової трубки ім. Карпінського Архангельської діамантоносною провінцією. Склад флюїдної фази цих утворень має різко відновлювальні властивості, що свідчить про їхнє мантийне походження.

Дуже важливий аспект, що є результатом нашого дослідження, – це можливість використання сферул певного типу і частинок самородних металів з розшуковою метою. Порівняно з класичними мінералами-супутниками діамантів вони мають навіть певні переваги: легку візуальну діагностику й однозначність їхнього експлозивного походження. Завдяки слабкій стійкості щодо механогенної переробки вони можуть свідчити про близькість джерел знесення. З іншого боку, їхній генезис, найімовірніше, пов'язаний з газовою складовою вибухового процесу. З урахуванням надпотужної енергетики експлозивного процесу (навіть порівняно з коровим магматизмом) збільшується можливість перенесення речовини повітряним шляхом. Наприклад, у відкладах палеогенового віку (св. Бориня-3) відшукано частинки високотитанового пухирчастого скла та рудних сферул I-типу. Примітно, що в асоціації з ними зовсім нема мінералів флюїдизатно-експлозивного парагенезису, а це робить неможливим прогнозування розшукового характеру.

Вивчення мікросферул другої групи пов'язане з певними труднощами. Як зазначено, вони мають складну внутрішню будову: фактично це меланж зі скла змінного складу розпилених рудних мінералів (магнетит) і по-різному оплавлених мінералів. Кожному екземпляру притаманна неповторна внутрішня будова. Зазначимо, що в літературних джерелах немає ніяких даних про сферули такого типу.

Наразі отримані результати не дають змоги виконати ґрунтовну класифікацію таких сферул. Найлогічнішим видається припущення, що це оплавлені уламки гірських порід і матеріалу ґрунту. Частина сферул другого типу подібна до сферул і близьких до них шлакоподібних уламків, які виявлено у шлаку, що залишається після згорання кам'яного

вугілля, та попелі багаття. Цей факт і те, що вони поширені винятково у приповерхневих відкладах, спонукають до думки, що такі утворення мають техногенне походження.

Водночас низка чинників свідчить на користь їхнього природного походження. Насамперед, це рівномірне поширення по площині з приблизно однаковими показниками вмісту, за винятком зон техногенезу, де вміст збільшується на порядки. Найбільша концентрація мікросферул і шлакоподібних частинок тяжіє до певних, а саме – глинистих відкладів. Сферули другої групи супроводжуються сферулами першої групи (*I*-тип, *G*-тип), гранатом, ставролітом, подекуди – хромдіоксидом, муасанітом, олівіном, самородними металами та уламками ультраосновних порід. Подекуди ці мінерали виділяються більшим розміром і повною відсутністю слідів обкатаності. Загалом є підстави припускати, що походження сферул другої групи певним чином пов'язане з експлозивними процесами. Наприклад, вони могли утворитися внаслідок глобальних лісових пожеж, спричинених ендегенним катастрофізмом.

У цьому контексті треба згадати дослідження американських учених, які вивчали чорні глини плейстоцен-голоценового віку Американського континенту і Бельгії [16, 19, 20]. Відклади віком 12 тис. років містять залишки масового вимирання савців: мамонтів, мастодонтів, коней, верблюдів та ін. У глинах відшукали мікродіаманти трьох модифікацій, склоподібний вуглець, вуглецеві сферули, залишки сажі та магнітні сферули з високим вмістом титану (до 36 %). Сферули містять ільменіт і рутил. Дослідники пов'язують катастрофічне явище з падінням на Землю великого космічного тіла. Знову ж таки привертає увагу наявність сферул з високим вмістом суто телуричного елемента. Постає питання – чи доцільно переносити причини катастрофічних явищ у космос?

Отже, за особливостями внутрішньої будови всі сферули, зібрані на території України, можна розділити на дві великі групи. Сферули першої групи складаються з однорідної речовини з чітким розділенням на рудну й силікатну фази та мають просту будову. Сферулам другої групи притаманні складна внутрішня будова і змінний склад, часто вони містять залишкові оплавлені зерна мінералів; рудна й силікатна фази здебільшого представлені у вигляді тонкої суміші.

Силікатні сферули (*G*-тип) складені склом. За складом воно має тенденцію утворювати два хімічні типи – висококальцієве і титан-залізо-манганове. До окремої групи належать сферули несилікатного, скло-флюоритового складу. За сукупністю геологічних і геохімічних даних можна дійти висновку, що сферули мають ендегенне походження й утворилися внаслідок мантійних флюїдизатно-експлозивних процесів.

Сферули другої групи мають техногенне походження, проте можуть бути і природними; імовірно, їхній генезис пов'язаний з катастрофічними явищами.

1. Алмаз из Белиловской (Западной) астроблемы (Украинский щит) / С. Н. Цымбал, В. Н. Квасница, Ю. С. Цымбал, Э. В. Мельничук // Минерал. журн. – 1999. – Т. 21, № 2/3. – С. 45–52.
2. Алмазоносные формации и структуры юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы. Опыт минерагении алмаза / Г. М. Яценко, Д. С. Гурский, Е. М. Сливко [и др.]. – Киев : УкрГГРИ, 2002. – 331 с.
3. Бекеша С. Особливості морфології та внутрішньої будови мікросферул України / С. Бекеша, І. Яценко // Мінерал. зб. – 2010. – № 60, вип. 2. – С. 89–96.

4. Братусь М. Д. Состав флюидных включений в закаленных частицах из взрывных кольцевых структур и кимберлитовых трубок / М. Д. Братусь, В. И. Татаринцев, Б. Э. Сахно // *Геохимия*. – 1987. – № 11. – С. 1563–1568.
5. *Геологический словарь*. Т. 2. – М. : Недра, 1973. – 456 с.
6. Джейс А. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии / А. Джейс, Дж. Луис, К. Смит. – М. : Мир, 1989. – 430 с.
7. Кованько В. В. Свойства лунного грунта и проблемы его разработки / В. В. Кованько, Н. Г. Лустюк, А. А. Комиссарчук. – Львов : Евросвіт, 1998. – 192 с.
8. Краткий справочник по геохимии / Г. В. Войткевич, А. Е. Мирошников, А. С. Поваренных, В. Г. Прохоров. – М. : Недра, 1977. – 184 с.
9. Маршинцев В. К. Природа сфероидных образований в кимберлитах. Следы космических воздействий на Землю / В. К. Маршинцев. – Новосибирск : Наука, 1990. – С. 45–57.
10. Сандиминова Е. И. Магнитные сферулы из вулканогенных пород Курильских островов и Южной Камчатки / Е. И. Сандиминова, С. Ф. Главатских, С. Н. Рычагов // *Вестник КРАУНЦ наук о Земле*. – 2003. – № 1. – С. 135–139.
11. Шафрановский Г. И. Сфероиды из пород кимберлитовой трубки Катока (СВ Ангола) / Г. И. Шафрановский, В. Н. Зинченко // *Федоровская сессия 2010 : Междунар. науч. конф. : материалы*. – СПб., 2010. – С. 63–69.
12. Badjukov D. Micrometeorites from the northern ice cap of the Novaya Zemlya archipelago, Russia : The first occurrence / Dmitry D. Badjukov, Raitala Jouko // *Meteoritics & Planet. Science*. – 2003. – Vol. 38, N 3. – P. 329–340.
13. Bement L. C. Bull Creek environment and the ET event / L. C. Bement, B. J. Carter // *American Geophys. Union Fall Meeting : Abstracts*, 2008. – P. 13C–1474.
14. Characteristics and origin of the glass spherules from the Paleocene flood basalt province of Western Greenland / Eric Robin, Nicola H. M. Swinburne, Laurence Froget, Robert Rocchia, J. Gayraud // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 1996. – Vol. 60, Is. 5. – P. 815–830.
15. Crystal-melt equilibria involving potassium-bearing clinopyroxenes indicator of mantle-derived ultrahigh-potassic liquids: an analytical review / L. L. Perchuk, O. G. Safonov, V. O. Yapaskurt, J. M. Barton Jr. // *Lithos*. – 2002. – Vol. 60. – P. 89–111.
16. Elemental analysis of the sediment, magnetic grains and microspherules from the Younger Dryas Impact Layer / R. B. Firestone, A. West, Z. Revay [et al.] // *American Geophys. Union Fall Meeting : Abstracts*, 2008. – P. 13C–1472.
17. Glass B. P. Microirghizites recovered from a sediment sample from the Zhamanshin impact structure / B. P. Glass, K. Fredriksson, P. V. Florenskii // *J. Geophys. Res.* – 1983. – Vol. 88, N 15. – P. B319–B330.
18. Late Eocene North American microtektites and clinopyroxene-bearing spherules / B. P. Glass, C. A. Burns, J. R. Crosbie, D. L. Dubois // *J. Geophys. Res. Supplement*. – 1985. – Vol. 90, N 15. – P. D175–D196.
19. Presence of all three allotropes of impact-diamonds in the Younger Dryas Onset Layer (YDB) across N America and NW Europe / A. West, J. P. Kennett, D. J. Kennett [et al.] // *American Geophys. Union Fall Meeting : Abstracts*, 2008. – P. 23D–01.
20. Soot as evidence for widespread fires at the Younger Dryas Onset (YDB; 12.9 ka) / A. Stich, G. Howard, J. B. Kloosterman [et al.] // *American Geophys. Union Fall Meeting : Abstracts*, 2008. – P. 13C–1471.

21. Taylor S. Number, types and compositions of an unbiased collections of cosmic spherules / S. Taylor, J. H. Lever, R. P. Harvey // *Meteoritics & Planet. Science.* – 2000. – Vol. 35. – P. 651–666.

**CHEMICAL COMPOSITION OF MICROSPHERULES FROM EXPLOSIVES
AND VOLCANIC-SEDIMENTARY FORMATIONS OF UKRAINE**

S. Bekesha¹, I. Yatsenko¹, N. Bilyk¹, Yu. Datsyk¹, L. Druchok²

¹*Ivan Franko National University of Lviv
Hrushevskiyi St. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

²*Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NASU
Naukova St. 3a, UA – 79053 Lviv, Ukraine
E-mail: igggk@ah.ipm.ua*

Chemical composition of glass spherules from the different deposits of Ukraine is characterized. Two types of spherules have been recognized due to the results of microprobe analysis: endogenous, formed in high-temperature conditions and microspherules of problematic origin, formed at relatively low temperature. According to the chemical composition endogenous glass spherules are divided into two basic classes: calcium-silicate and Ti-Fe-Mn-silicate. Connection between endogenous microspherules and mantle fluidizate-explosive processes is grounded.

Key words: spherule, glass, chemical composition, explosive process, fluidizate-explosive structure, Ukraine.

**ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СИЛИКАТНЫХ
МИКРОСФЕРУЛ ИЗ ЭКСПЛОЗИВНЫХ И ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ
ПОРОД УКРАИНЫ**

С. Бекеша¹, И. Яценко¹, Н. Билык¹, Ю. Дацюк¹, Л. Дручок²

¹*Львовский национальный университет имени Ивана Франко
79005 г. Львов, ул. Грушевского, 4
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

²*Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины
79053 г. Львов, ул. Научная, 3а
E-mail: igggk@ah.ipm.ua*

Приведено результаты изучения химического состава стеклянных образований (сферул) из различных отложений Украины. На основании результатов микронзондового анализа выделено два типа сферул: эндогенные, образованные в высокопараметрических условиях, и микросферулы проблемного происхождения, которые формировались при относительно низкой температуре. По химическому составу эндогенные стеклянные сферулы разделены на два основных класса: кальциево-силикатные и Ti-Fe-Mn-силикат-

ные. Обосновано связь эндогенных микросферул с мантийными флюидизатно-эксплозивными процессами.

Ключевые слова: сферула, стекло, химический состав, эксплозивный процесс, флюидизатно-эксплозивная структура, Украина.

Стаття надійшла до редколегії 06.09.2011

Прийнята до друку 09.11.2011