

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.41.03.024>

УДК 549.2 + 622.037 (664)

О.Б. Бобров¹, Л.М. Степанюк², С.І. Курило²,
С.М. Бондаренко², С.Д. Какаранза¹, Т.Б. Яськевич²

¹ Підприємство “Експертна рада Спілки геологів України”
04070, м. Київ, Україна, вул. Кирилівська, 26/2
E-mail: albobrov@ukr.net

² Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: stepaniuk@nas.gov.ua, iaskevych@ukr.net

ПЕРША ЗНАХІДКА СИЛІЦИДІВ І СИЛІЦІЮ В ПАЛЕОРОЗСИПИЩАХ ЛЕОНО-ЛІБЕРІЙСЬКОГО ЩИТА (СЬЄРРА ЛЕОНЕ, ЗАХІДНА АФРИКА)

У середній течії р. Сева (*Sewa*) з конгломератів та гравелітів другого типу, представлених сипкими нелітфікованими різновидами, було виявлено металеві фази різнокольорових силіцидів (силіциди магнію, заліза, дисиліциди магнію, заліза, кальцію, а також самородний силіцій) та супутників алмазів. Ці конгломерати містять галькову компоненту (кварц, гранітоїди тоналітового складу, кристалічні сланці основного складу, мігматити, апліти, епідозити) та слабо глинистий пісковиковий наповнювач. Силіциди присутні у вигляді уламків (до 2 см) кристалічних агрегатів. Вони є унікальними мінеральними утвореннями, ніколи раніше не описаними в даному регіоні. Нами виявлено: 1) дисиліцид заліза (FeSi_2), що визначає головні елементи структури цих мінеральних композитів в аншліфах; 2) силіцид магнію (Mg_2Si) білувато-блакитного кольору, який цементує фазу FeSi_2 , кількісно значно поступається їй і становить близько 10–20 % об'єму; 3) дисиліцид магнію та кальцію (MgCaSi_2) рожево-кремового кольору, вміст — 2–6 %, фаза рівномірно розсіяна в основній матриці і має вигляд, типовий для продуктів розпаду твердих розчинів; 4) силіцид заліза (FeSi) формує окремі зерна сірого кольору; 5) самородний силіцій (Si) формує дрібні зерна, що знаходяться в інтерстиціях інших силіцидів. Автори схильні вважати, що ймовірним джерелом силіцидів є виявлений поблизу габро-діоритовий (розшарований до піроксенітів / горнблендітів) масив з очевидними ознаками як лінійного, так і глобулярного розшарування. Для отримання однозначної відповіді на ці питання триває геолого-геофізичне картування ймовірних ділянок локалізації виявленого масиву і геологічних тіл основного і ультраосновного складу.

Ключові слова: силіциди, дисиліциди, самородний силіцій, розшарований габро-діоритовий масив.

Вступ. Силіциди як природні сполуки металів із кремнієм є однією з відомих мінеральних форм, знайдених у деяких хромітових родовищах у кристалічних породах, в сучасних та давніх розсипищах, океанічних осадових породах та залізо-манганових конкреціях, а також фульгуритах (озеро Уінанс (*Winans Lake*), Мічиган, США [13]), метеоритах та кометній речовині. Стосовно фульгуритів потрібно зазна-

чити, що ці природні утворення (окрім, можливо, петрофульгуритів у андезитах гори Малій Апарат, <http://finesell.ru/zagadki-gipotezi/fulgurit.html>) неоднозначні за природою, тому достовірність цих знахідок потрібно ретельно доводити через наявність на ринку цих унікальних природних утворень великої кількості фальсифікатів.

Починаючи з 1960-х рр. українські дослідники [1–5 та ін.] повідомляли про знахідки мікрочасток силіцидів у вапняках рівнинного Криму (разом із самородними залізом, хромистим залізом та свинцем). За А.І. Тищенко зі

© О.Б. БОБРОВ, Л.М. СТЕПАНЮК,
С.І. КУРИЛО, С.М. БОНДАРЕНКО,
С.Д. КАКАРАНЗА, Т.Б. ЯСЬКЕВИЧ, 2019

співавторами роботи [9], де узагальнено наявні літературні дані з цього питання, вони пов'язані з ін'єкційними виділеннями темноколірної пелітоморфної полімінеральної речовини, генетично пов'язаної із надглибинними безводними та надзвичайно стисненими газовими компонентами флюїдів [9, 10]. Окрім того, є повідомлення про наявність природного феросиліцію в Катеринівському гранітному масиві Північного Приазов'я [1]. Водночас деякі дослідники (Г.К. Єрмоєнко) вважали, що наявність силіцидів у пробах, описаних у цій роботі, є результатом забруднення металургійним пилом.

Аналітично підтверджені знахідки силіцидів у інших регіонах світу також мають численну бібліографію. Неповний перелік найбільш знакових знахідок силіцидів — це хроміти офіолітового комплексу Лобуса (Тибет, Західний Китай); анортозитовий метеорит *Dhofar 280*, знайдений в Омані; родовища Китаю у провінціях Шаньдун (*Shandong*), Чжецзян (*Zhejiang*); префектурах Лінї (*Linyi*), на території ведення робіт компанії *Longquan Co* (Китай); карбонатні породи р. Базаїха поблизу м. Красноярськ [7, 9]; вапняки Батенівського кряжу в Хакасії; пісковики хребта Манітанірд на Полярному Уралі [8] та ін.

Не зважаючи на те, що силіциди досить відомі, вони є надзвичайно рідкісними мінералами і представлені невеликою групою, що нараховує близько 12 мінеральних видів [6, 9, 11, 17]. За даними А.І. Тищенко зі співавт. [9], це браунліїт (*brownleeite*) $MnSi$, гупейт (*gupeite*) Fe_3Si , зюссит (*suessite*) $(Fe, Ni)_3Si$, лінзійт (*linzhiite*) $FeSi_2$, лобусаїт (*luobusaite*) $Fe_{0,84}Si_2$, мавляновіт (*mavlyanovite*) Mn_5Si_3 , некейт (*naquite*) $Fe_{0,96}Mn_{0,01}Co_{0,01}Ni_{0,01}Si_{1,01}$, паладосиліцид (*palladosilicide*) Pd_2Si , періїт (*perryite*) $(Ni, Fe)_5(Si, P)_2$, хапкеїт (*hapkeite*) Fe_2Si , цзанбоїт (*zangboite*) $TiFeSi_2$, та ксифенгіт (*xifengite*) Fe_5Si_3 . У літературі також повідомлено про численні знахідки силіцидів без зазначення мінеральних форм, що дає змогу припускати різноманітнішу мінеральну гаму цих природних утворень, відомості про яку поки що не оприлюднено.

Таким чином, нові знахідки природних силіцидів у межах Леоно-Ліберійського щита, про перший опис яких йдеться в цій статті, суттєво поповнюють наші знання про мінеральний склад, форми знаходження, географію та генезис цих унікальних утворень.

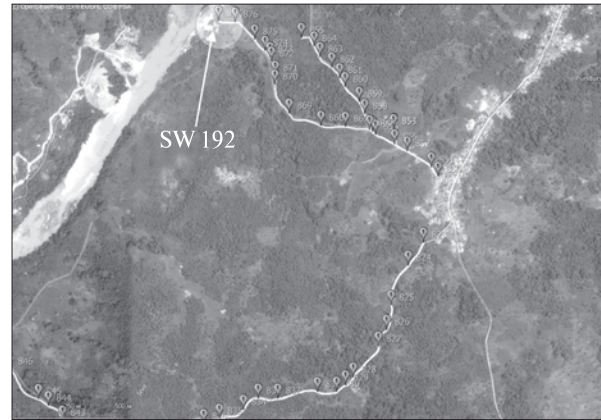


Рис. 1. Локалізація району робіт на космознімку *Landsat*, карта *Google* та розташування основних GPR профілів

Fig. 1. Location of the Landsat Space Snapshot Area, Google Map and the main GPR profiles

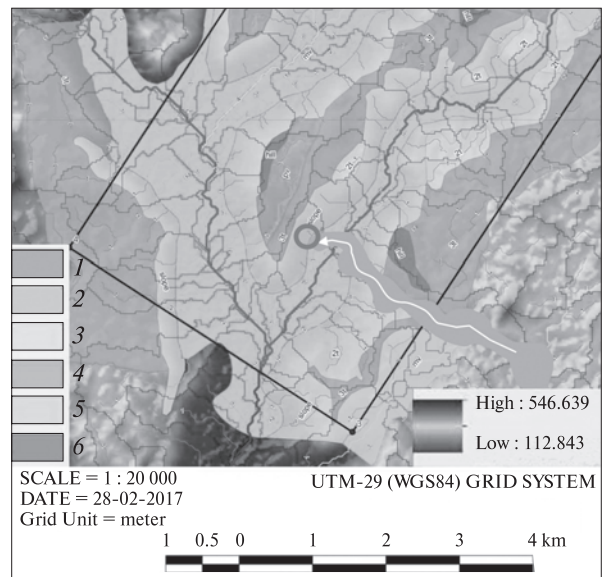


Рис. 2. Фрагмент геоморфологічної карти (за *Trinity Geomining Services*, 2017): 1 — сателітний палеоканал; 2 — заплава та перша тераса нерозчленовані; 3 — друга тераса; 4 — третя тераса; 5 — схил; 6 — верхні частини гір; праворуч — розподіл висот, за *X-SAR*, побудовано авторами

Fig. 2. A fragment of geomorphological map (by *Trinity Geomining Services*, 2017): 1 — satellite paleocanal; 2 — the floodplain and the first terrace are non-subdivided; 3 — the second terrace; 4 — the third terrace; 5 — slope; 6 — the upper parts of the mountains; to the right — the height distribution for the X-SAR, made by authors

Геологічна ситуація, фактичний матеріал. Геологічна будова кристалічного фундаменту цього району традиційна для давніх щитів [12–16], до якого належить розташована в межах Сьєрра Леоне частина Леоно-Ліберійського щита.



Рис. 3. Валуни та брили вмісних порід серед алювіальних відкладів палеоканалу

Fig. 3. Boulders and lumps of host rocks among the alluvial deposits of the paleocanal

Судячи з отриманих нами даних, тут поширені ультраметаморфізовані утворення граніто-гнейсового комплексу архею (мігматити з реліктовими тілами суперкрудальних порід, представлених різноманітними за мінеральним

складом плагіогнейсами, кристалічними сланцями та амфіболітами), численні інтрузії тоналітів, діоритів, гранодіоритів, габро, ультрабазитів; дайки долеритів (пікродолеритів) та кімберліти.

У деяких ділянках ми виявили високоглиноземні породи діафторованого гранулітового комплексу (\pm андалузит-ставроліт-мусковіт-серцитові породи), залізорудні утворення типу евлізитів та ознаки наявності реліктів порід зеленокам'яного комплексу, зокрема метаконатіти.

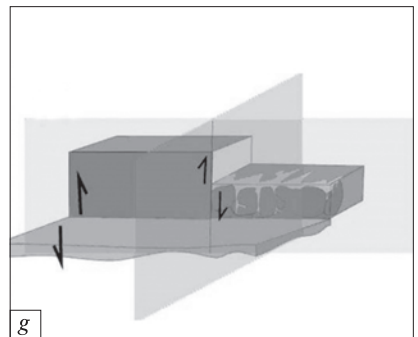
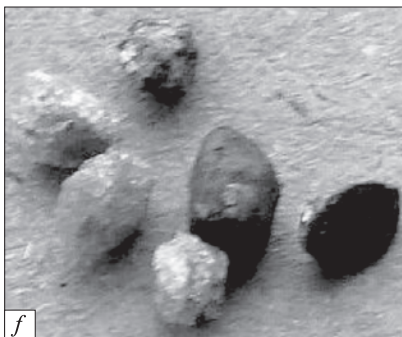
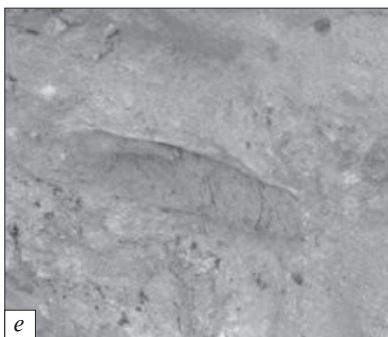
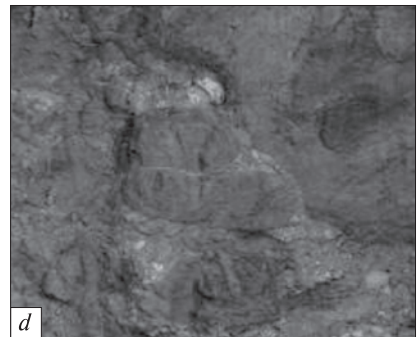
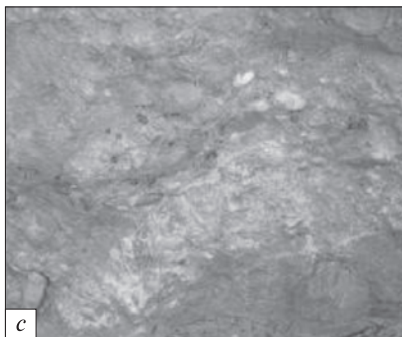
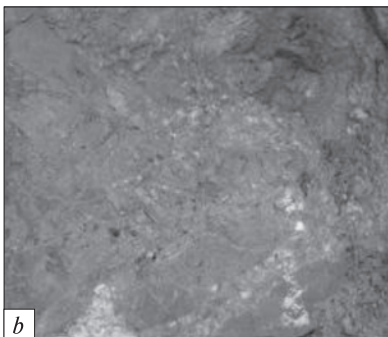
У процесі геологорозвідувальних робіт у межах однієї з Концесій в Сьєрра Леоне, права на яку належать компанії *Seawright Mining* (рис. 1), в алювіальних відкладах похованих розсипищ басейну праріки Сева в складі важкої фракції шліхів ми виявили металоподібні мінеральні утворення. За даними аналітичних досліджень вони відповідають (як буде показано нижче) силіцидам.

Місце знахідки силіцидів (рис. 2, кільце) у палеогеоморфологічному відношенні пред-



Рис. 4. Північна стінка кар'єру та характер локалізації конгломератів у міжбриловому просторі: *a* — північна стінка кар'єру на лівому борті р. Сева; *b–e* — типи конгломератів; *f* — супутники алмазів кімберлітового походження у конгломератах другого типу; *g* — схематична модель блокової будови кристалічного фундаменту

Fig. 4. The northern wall of the quarry and the nature of the localization of conglomerates in between the gap space: *a* — view of the northern wall of the quarry on the left side of the Sewa River; *b–e* — types of conglomerates; *f* — satellites of diamonds of kimberlite origin in conglomerates of the second type; *g* — schematic model of the block structure of crystalline basement



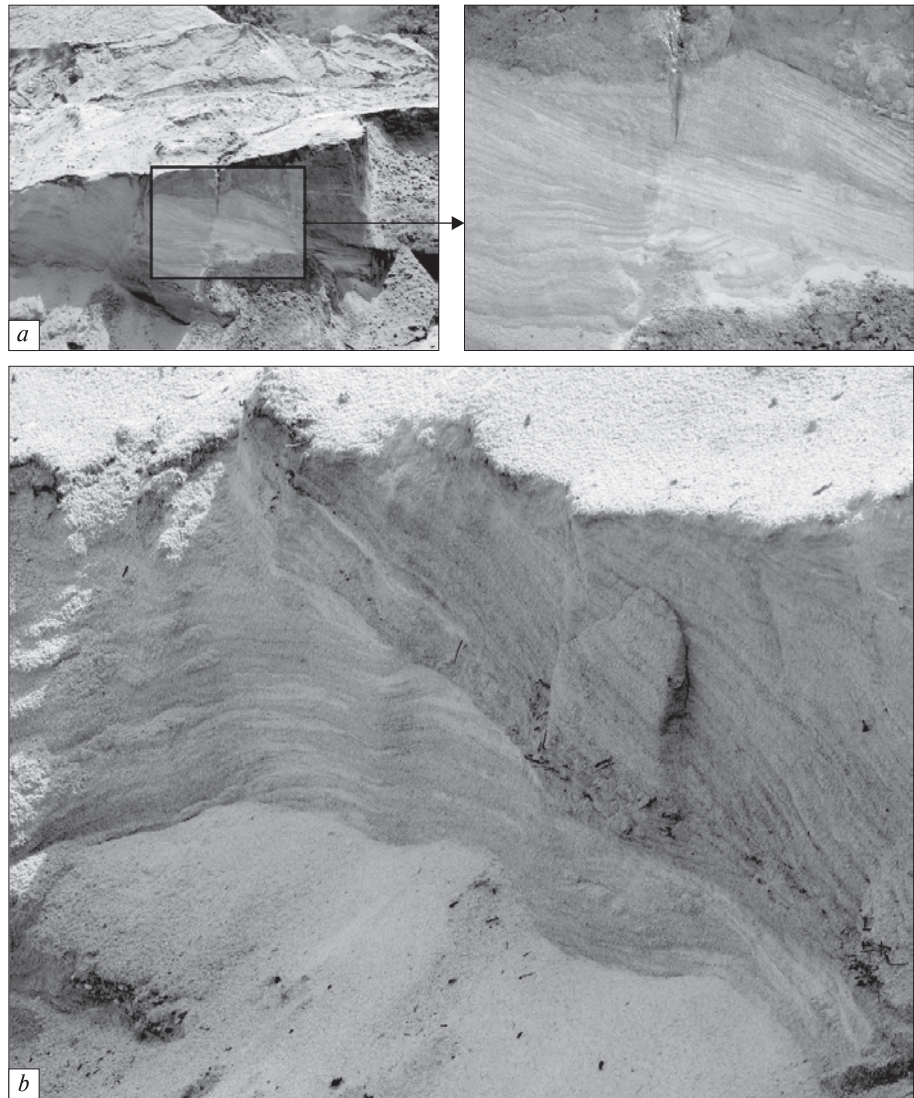


Рис. 5. Косоверстуваті піски: *a* — уतिकання площин та ліній нашарування різних циклів седиментації; *b* — деталь рисунку ліворуч

Fig. 5. Cross-bedded sand: *a* — junction of planes and stratification lines of different sedimentation cycles; *b* — drawing detail on the left

ставляє собою гирлову частину палеорічки, сателітної до сучасного русла р. Сева, що впадає в неї з південного сходу (рис. 1, 2, біла стрілка), розтинаючи всі типи осадових утворень. Завдяки гірничим роботам тут кар'єром в точці SW192 (координати $8^{\circ}29'15,11''/11^{\circ}18'09,26''$, зона *UTM* 29) відкрито фрагмент палеоруслу цього водостоку (рис. 2).

Валуни та брили вмісних порід серед різноманітних алювіальних відкладів палеоканалу мають одноманітну орієнтацію (рис. 3, білі стрілки) з нахилом у західному напрямку, що свідчить про інтенсивний водний палеопотік зі сходу до палеоруслу р. Сева (рис. 2).

Вивчена нами ділянка розташована на східному березі р. Сева поблизу кар'єру, де з продуктивних горизонтів конгломератів видобували алмази і золото. В його північній стінці зафіксовано субширотний розлом (рис. 4, г).

По ньому південна від зміщувача частина блоку порід кристалічного фундаменту скинута вниз із амплітудою близько 10 м. Водночас цей блок порід фундаменту розітнуто ще одним розломом субмеридіонального простягання, по якому східний від зміщувача блок також скинутий униз із амплітудою близько 2 м. Таким чином, ми маємо справу з клавішною будовою порід кристалічного фундаменту цієї ділянки.

Основним типом порід на ділянці, що описується, є грубоуламкові відклади, представлені конгломератами, гравійно-гальковими відкладами. Їхній склад, морфологія, ступінь відсортованості уламків за розміром коливаються в широких межах. Для опису усіх цих різновидів порід для зручності надалі ми будемо використовувати збірний термін "конгломерати". У межах кар'єру спостерігаються два їх типи.

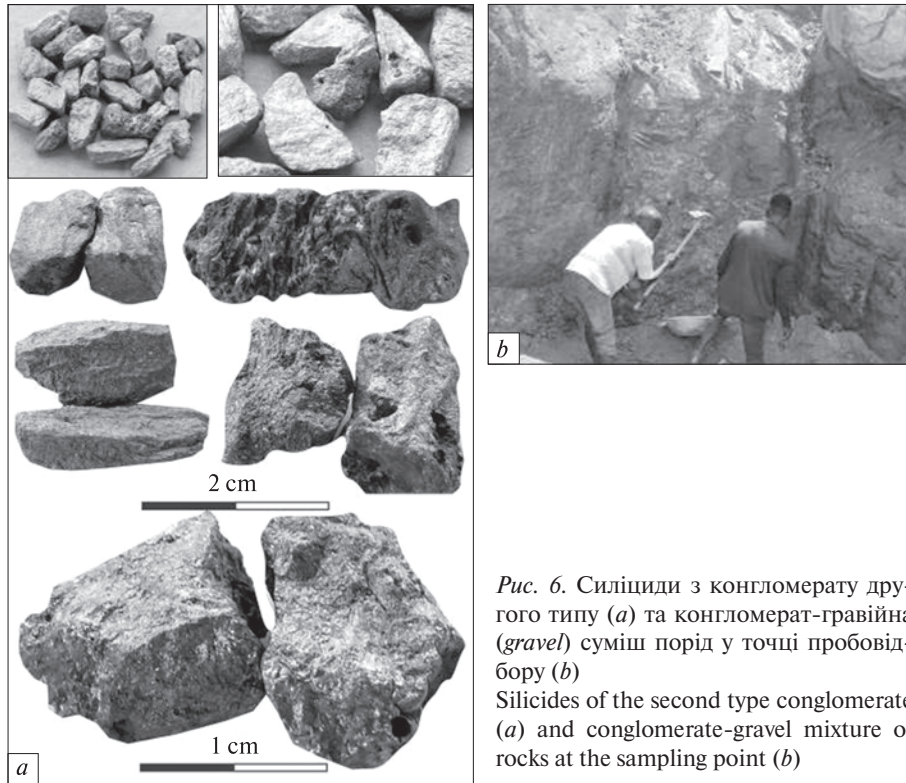


Рис. 6. Силіциди з конгломерату другого типу (а) та конгломерат-гравійна (gravel) суміш порід у точці пробовідбору (b)
Silicides of the second type conglomerate (a) and conglomerate-gravel mixture of rocks at the sampling point (b)

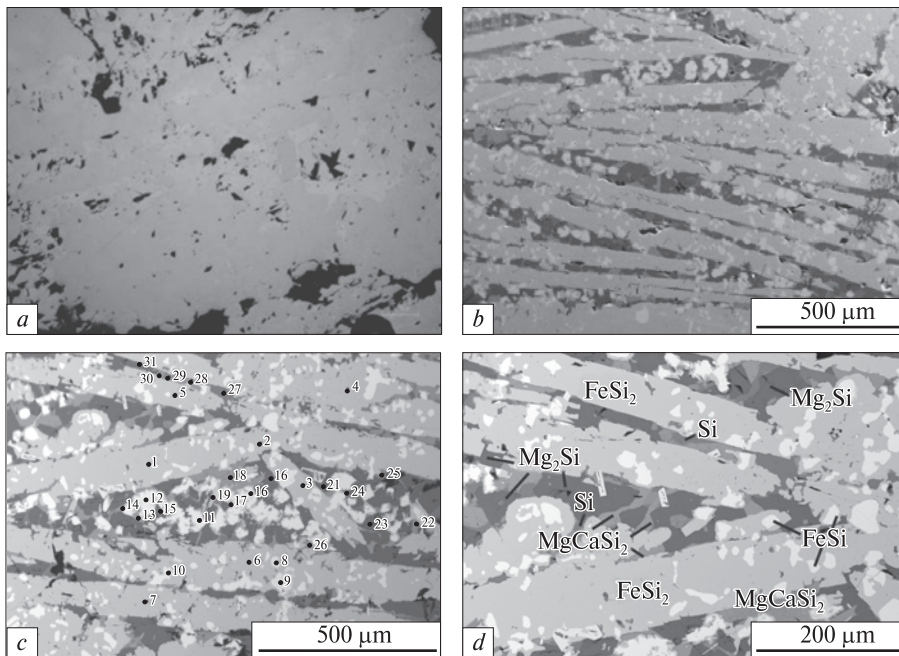


Рис. 7. Електронно-мікроскопічні зображення силіцидів, режим відбитих електронів: а — головні фази у відбитому світлі. Аншліф. Зб. 150 \times , b — загальний план, режим вторинних електронів; c, d — фазовий склад

Fig. 7. Electron microscope images of silicides, of back-scattered electron mode: a — the main phases in the reflected light. Polished section. Magnified by 150, b — general plan, secondary electron mode; c, d — phase composition

Перший тип локалізується між блоками та брилами порід кристалічного фундаменту (рис. 4). Його обсяги та потужність є незначними і становлять одиниці — десятки сантиметрів. Судячи з результатів документації стінок кар'єру, кількість конгломерат-гравійної (gravel) суміші порід є незначною і становить не більше 2–5 % від загального обсягу

розрізу в різних ділянках. Гравел представлений літифікованими конгломератами з цементом середньо-крупнозернистих пісковиків. Ці конгломерати на ділянці знаходяться в природному для алювію положенні як на поверхні кристалічних порід (плотик), так і заповнюють тріщини та простір між окремими брилами (рис. 4). Генетично він представле-

Таблиця 1. Хімічний склад дисиліциду заліза (FeSi₂), %
Table 1. Chemical composition of iron disilicide (FeSi₂), %

Компо- нент	Номер точки визначення									
	1	2	3	4	5	6	7	14	17	19
Mg	0,85	0,85	0,74	0,69	0,80	0,85	0,77	1,36	0,73	0,83
Al	0,66	0,56	0,70	0,78	0,71	0,82	0,52	1,89	1,10	0,98
Si	49,39	49,30	49,14	48,95	48,26	49,48	49,45	48,98	47,82	47,55
P	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,02	0,01	0,10	0,00	0,05	2,62	0,08	0,04
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Cr	0,09	0,09	0,12	0,10	0,16	0,11	0,03	0,29	0,42	0,22
Mn	0,28	0,32	0,57	0,47	0,37	0,66	0,37	1,00	0,95	0,70
Fe	48,55	48,12	47,49	47,60	46,40	48,81	48,74	44,32	48,25	48,40
Ni	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,15	0,05	0,00
Cu	0,40	0,25	0,22	0,43	0,43	0,40	0,45	0,29	0,37	0,35
Σ	100,21	99,54	99,01	99,07	97,55	101,14	100,39	100,90	99,77	99,07

П р и м і т к а. Тут і у табл. 2—5: аналізи виконано на JXA-733 із застосуванням енерго-дисперсійного спектрометра, аналітик С.І. Курило. Як стандарти використали чисті метали та самородний силіцій Si.

N o t e. Here and in Tables 2—5: analyzes are carried out on JXA-733, with application of energy dispersive spectrometer. An analyst S.I. Kurylo. Pure metals and native Si are used as standards.

Таблиця 2. Хімічний склад силіциду магнію (Mg₂Si), %
Table 2. Chemical composition of magnesium silicide (Mg₂Si), %

Компо- нент	Номер точки визначення				Компо- нент	Номер точки визначення			
	15	20	23	31		15	20	23	31
Mg	53,76	56,79	54,18	55,94	Cr	0,00	0,03	0,09	0,02
Al	0,14	0,12	0,30	0,26	Mn	0,05	0,05	0,01	0,00
Si	40,61	43,30	41,29	42,77	Fe	0,68	0,63	0,60	0,80
P	0,35	0,13	0,48	0,37	Ni	0,03	0,00	0,00	0,00
S	0,11	0,04	0,00	0,00	Cu	0,01	0,03	0,00	0,07
Ca	0,08	0,02	0,13	0,00	Σ	95,82	101,14	97,08	100,24
Ti	0,00	0,00	0,00	0,01					

Таблиця 3. Хімічний склад дисиліциду магнію та кальцію (MgCaSi₂), %
Table 3. Chemical composition of magnesium and calcium disilicide (MgCaSi₂), %

Компо- нент	Номер точки визначення							
	13	18	21	22	25	26	28	30
Mg	17,33	17,34	17,96	17,54	2,48	16,03	17,16	22,54
Al	0,99	0,92	1,09	0,98	21,61	0,88	1,00	9,48
Si	45,34	46,00	46,35	47,34	37,69	46,93	45,67	39,86
P	0,15	0,12	0,15	0,11	0,19	0,05	0,27	0,33
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	27,99	28,37	27,39	29,12	23,34	23,19	27,80	23,25
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,00
Cr	0,24	0,26	0,28	0,26	0,16	0,20	0,19	0,08
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,18	0,08	0,00
Fe	0,54	0,51	0,74	0,57	0,72	8,93	1,07	0,60
Ni	0,10	0,09	0,03	0,08	0,05	0,00	0,07	0,07
Cu	0,84	0,70	0,75	0,76	0,06	0,84	0,81	0,00
Σ	93,52	94,31	94,73	96,76	86,32	97,25	94,23	96,21

Таблиця 4. Хімічний склад силіциду заліза (FeSi), %
Table 4. Chemical composition of iron silicide (FeSi), %

Компо- нент	Номер точки визначення					
	8	9	10	11	12	16
Mg	0,68	0,54	0,66	0,50	0,82	0,56
Al	0,38	0,32	0,47	0,30	0,39	0,39
Si	31,26	31,31	31,58	30,96	31,24	30,94
P	0,08	0,00	0,08	0,00	0,03	0,00
S	0,16	0,01	0,06	0,00	0,07	0,00
Ca	0,00	0,04	0,04	0,05	0,00	0,03
Ti	0,06	0,00	0,10	0,00	0,05	0,11
Cr	0,14	0,14	0,17	0,16	0,24	0,09
Mn	0,44	0,42	0,46	0,60	0,45	0,50
Fe	67,84	68,62	68,44	66,92	67,92	67,23
Ni	0,00	0,00	0,03	0,09	0,00	0,09
Cu	0,31	0,35	0,25	0,18	0,30	0,33
Σ	101,35	101,76	102,31	99,74	101,50	100,27

Таблиця 5. Хімічний склад самородного силіцію (Si), %
Table 5. Chemical composition of native silicon (Si), %

Компо- нент	Номер точки визначення		
	24	27	29
Mg	0,99	0,93	1,71
Al	0,54	0,40	0,52
Si	93,76	92,02	92,18
P	0,00	0,00	0,00
S	0,00	0,00	0,00
Ca	0,07	0,00	1,34
Ti	0,00	0,00	0,00
Cr	0,00	0,02	0,09
Mn	0,10	0,16	0,10
Fe	0,67	0,75	0,86
Ni	0,00	0,00	0,03
Cu	0,14	0,08	0,04
Σ	96,28	94,36	96,87

Таблиця 6. Хімічний склад порід, %
Table 6. Chemical composition of rocks, %

Номер проби	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SO _{3заг}	ВМП	Σ	CO ₂
SW192/1	42,60	11,23	3,68	10,01	0,85	0,30	6,50	17,89	0,08	1,19	0,51	0,03	4,90	99,84	0,37
SW192/2	48,70	10,86	5,89	8,74	1,82	0,20	11,17	7,78	0,15	0,33	2,07	0,13	1,80	99,64	0,28

П р и м і т к а. Аналіз виконано у відділі геохімії техногенних металів і аналітичної хімії ІГМР НАН України.

Н o t e. The analysis is carried out at Department of geochemistry of man-made metals and analytical chemistry of M.P. Semenenko IGMOF of NAS of Ukraine.

ний відкладами колювально-делювіальних літофацій із корінним джерелом руйнування матеріалу кристалічних порід у найближчих палеосхилах на сході.

Другий тип представлений сипкими нелітійкованими конгломератами та гравелітами, в яких після промивки шліхів і було виявлено металеві фази силіцидів та супутників алмазів (рис. 4, b—e). Ці конгломерати містять галькову компоненту (кварц, гранітоїди тоналітового складу, кристалічні сланці основного складу, мігматити, апліти, епідозити) та малоглинистий пісковиковий наповнювач.

Окрім різних типів конгломератів кар'єр вкрав також косоверстуваті піски (рис. 5) руслово-косових літофацій палеоканалу, що свідчить про вкрай мінливий гідродинамічний режим седиментації в межах палеорусла та близькість берегової лінії.

З алювіальних відкладів річки (конгломерати другого типу) було відібрано проби, з яких у процесі промивання було вилучено не лише металеві фази силіцидів, але й такі традиційні супутники алмазів як ільменіт, олівін, піроп (див. рис. 4, f). Швидше за все, це свідчить про міграцію в єдиному колекторі мінералів не з одного, а з різних корінних джерел, оскільки наявність силіцидів у кімберлітах наразі не описано.

Силіциди (рис. 6) присутні у важкій фракції шліхів у вигляді фрагментів металевих фаз, представлених агрегатом кристалів стовпоподібного, таблитчастого обрису, іноді — шесто-подібними та голчастими кристалами зі слабко відчутним поперечним штрихуванням та відтінками сталеві-сірого, олов'яно-білого, сизувато-рожевого, фіолетового кольору розміром до 2—3 см.

З застосуванням методів електронної мікроскопії та мікрозондового аналізу (рис. 7, табл. 1—5) ми визначили п'ять фаз силіцидів і дисиліцидів заліза, кальцію, магнію та само-

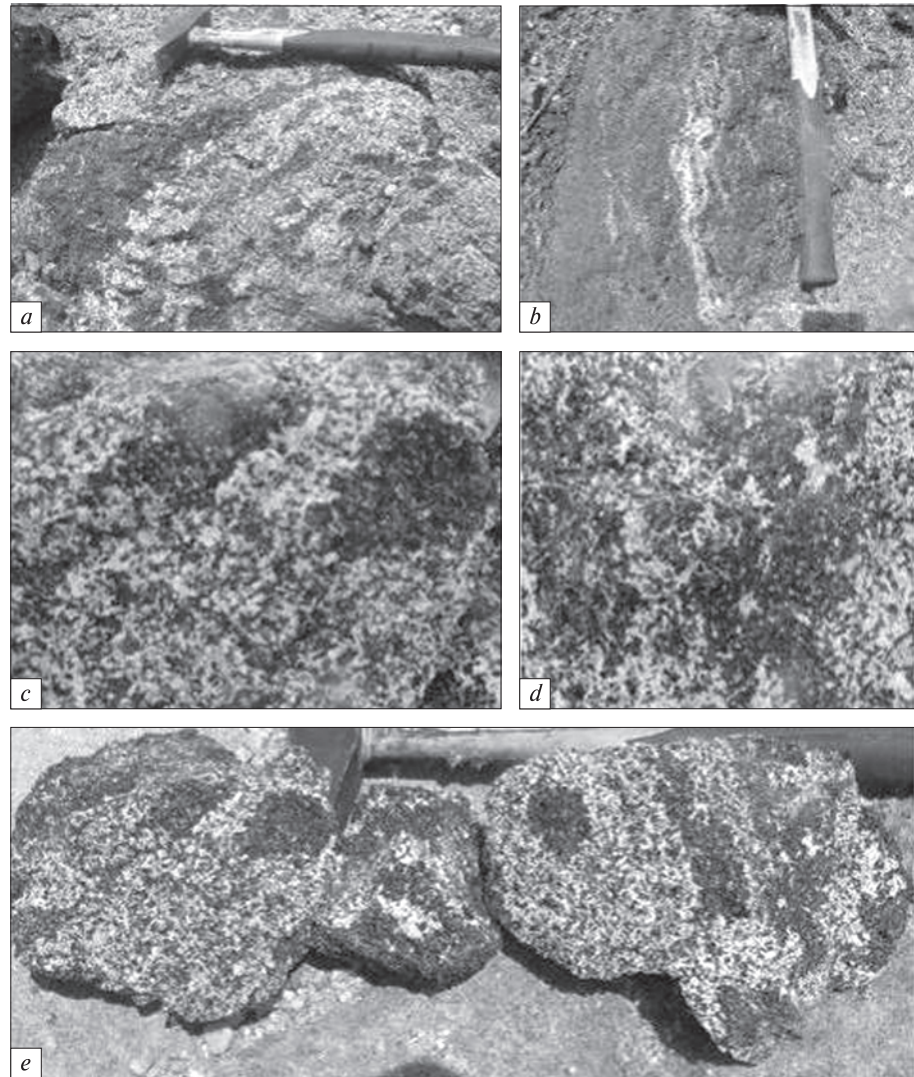


Рис. 8. Зразки різновидів порід розшарованого габро-діоритового масиву в південній частині кар'єру та західного флангу відслонення SW192; характер розшарованості: *a* — комбінований нодулярно-шаруватий; *b* — шаруватий; *c–e* — переважно нодулярний

Fig. 8. Specimens of rock varieties of layered gabbro-diorite massif in the southern part of the quarry and the western flank of the SW192 outcrop: *a* — combined nodular-layered; *b* — layered; *c–e* — predominantly nodular

родного силіцію. За результатами мікрозондових та мінераграфічних досліджень отримано такі їхні характеристики:

1. Дисиліцид заліза (FeSi_2 , табл. 1) — 60–70 % від загального об'єму речовини, має рожеве (нікелінове) забарвлення (рис. 1). Ця фаза визначає головні елементи структури в аншлифах через її домінування. У складі дисиліциду заліза (табл. 1) у різних частинах різних кристалів наявна незначна кількість домішок, мас. %: Mg (0,69–1,36), Al (0,52–1,89), Cr (0,03–0,42), Mn (0,28–0,45), Cu (0,22–0,45).

2. Силіцид магнію (Mg_2Si , табл. 2) — білувато-блакитного кольору, неначе цементує ("заміщує") фазу 1 (рис. 1), але кількісно значно поступається їй, складаючи — 10–20 % об'єму. Серед домішок більш-менш значущий вміст мають, %: Al (0,12–0,3), P (0,13–0,48) та Fe (0,60–0,80).

3. Дисиліцид магнію та кальцію (MgCaSi_2 , табл. 3) — виникає частіше на межі фаз 1 і 2. Має рожево-кремове забарвлення (рис. 1). Вміст оцінюється на рівні 2–6 %. Фаза рівномірно розсіяна в основній матриці і має вигляд, типовий для продуктів розпаду твердих розчинів. Серед домішок є, %: Al (0,99–21,61), P (0,05–0,27), Cr (0,08–0,26), Fe (0,51–8,93), Ni (0–0,10), Cu (0–0,84).

4. Силіцид заліза (FeSi , табл. 4) — окремі зерна. Колір на фоні інших фаз сіруватий (рис. 1). Домішки представлені, %: Mg (0,50–0,82 %), Al (0,30–0,47 %), Mn (0,42–0,60 %), Cu (0,18–0,35).

5. Самородний силіцій (Si, табл. 5) — дрібні зерна в інтерстиціях інших силіцидів. Серед домішок є, %: Fe (0,67–0,86), Al (0,40–0,54), Mg (0,93–1,71).

Ідентифікація корінного джерела силіцидів. Походження описаних силіцидів наразі можна

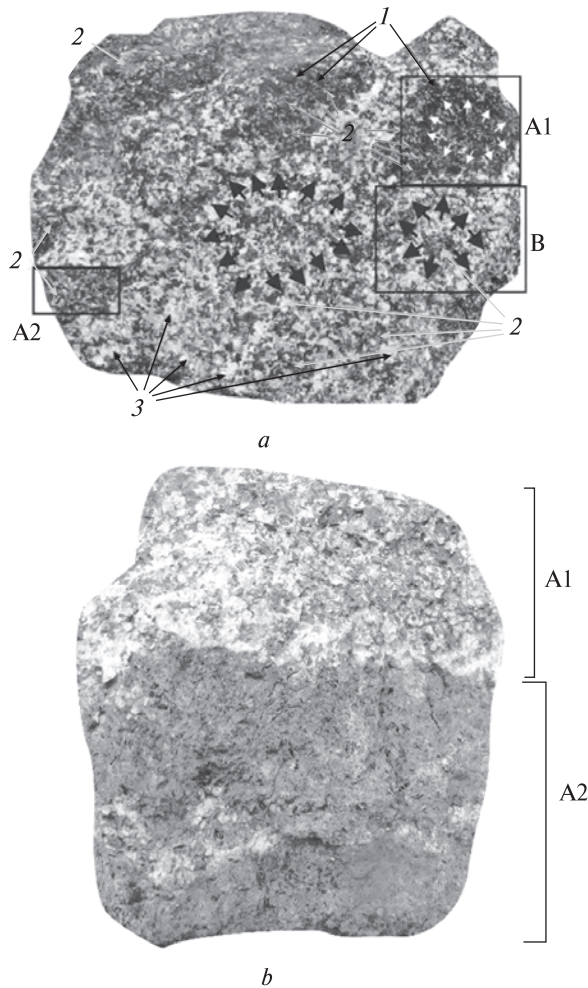


Рис. 9. Один із типових зразків нодулярного габро-діориту з кумулатами — нодули діоритового, габрового і горнблендитового (метапіроксенітового) складу: *a* — A1 — концентрично-симетричні нодули габро-горнблендитового складу; A2 — інтеркумулусні габроїди; B — діоритові нодули з симетрично-зональною будовою; 1 — порфірові виділення амфіболу; 2 — кристали рудних мінералів; 3 — плагіоклаз; *b* — контакт двох шарів диференційованої породної серії: верхня — габро-діоритового складу з вмістом рудних мінералів до 10–15 %; нижня — ультрамафітового складу (горнблендит, піроксеніт?) з численними сильно вивітрілими рудними мінералами (до 35–40 %)

Fig. 9. Typical samples of nodular gabbro-diorite with cumulates — nodules of diorite, gabbro, and hornblende (metapyroxene) composition: *a* — A1 — concentric-symmetric nodules of gabbro-hornblende composition; A2 — intercumulus gabbroids; B — diorite nodules with symmetric-zonal structure; 1 — porphyry aggregates of amphibole; 2 — crystals of ore minerals; 3 — plagioclase; *b* — contact of two layers of differentiated rock series: upper — gabbro-dioritic composition with ore minerals up to 10–15 %; lower — ultramafic composition (hornblende, pyroxenite?) with numerous deeply weathered ore minerals (up to 35–40 %)

оцінювати як однозначно не з'ясоване. Втім, наявні фактичні дані можуть суттєво допомогти з обґрунтованим розглядом одного з можливих варіантів інтерпретації їхнього генезису. Для цього нижче ми деталізуємо опис типів кристалічних порід, діагностованих поблизу ділянки відбору проб (SW192), а також розглянемо наявні дані з вивчення геологічної ситуації цієї ділянки (рис. 1).

Геологія кристалічних порід ділянки досліджень. Корінні кристалічні породи в межах ділянки представлені фрагментами розбитих тріщинами брил магматичних утворень породного ряду від мезо-меланодіоритів до габро-діоритів — габро (рис. 8, 9) з очевидними ознаками як лінійного (рис. 6, *a*, *b*, *d*), так і глобулярного розшарування, оскільки навіть в одному штуфі можна побачити більш меланократові різновиди порід — до метапіроксенітів (рис. 9, *b*). Так, на рис. 8, 9 видно, що діорити — габро-діорити по нерівному та хвилястому контуру, але з чіткими межами, переходять в практично мономінеральні породи типу горнблендитів (або метапіроксенітів, якщо за результатами подальших досліджень можна буде довести, що амфіболи є псевдоморфозами по первинних піроксенах). У діоритах масиву спостерігається фазова неоднорідність, проявлена у коливанні відсоткового співвідношення основних компонентів (салічних та фемічних мінералів). Наявність типів порід різної основності підтверджується результатами хімічного аналізу (табл. 6). Одна з порід (пр. SW192/1) за хімічним складом відповідає піроксеніту (рис. 9, *b*, зона A2), інша (пр. SW192/2) — габро-діориту (рис. 9, *a*).

Виглядаючи як свіжі кристалічні породи, вони є напрочуд крихкими, що унеможливило виготовлення з них якісних шліфів. Крихкість цих порід зумовлена, швидше за все, досить інтенсивним хімічним вивітрюванням, що призводить до трансформації у землисту масу не лише плагіоклазів та темноколірних, але й рудних мінералів.

Висновки. У описаній вище ділянці в конгломератах *другого типу* виявлено різноманітні за складом силіциди (силіциди магнію та заліза, дисиліциди магнію, заліза та кальцію), а також самородний силіцій, які у вигляді уламків кристалічної суміші є унікальними мінеральними утвореннями, ніколи раніше не описаними в цьому регіоні. Що стосується світової літератури, то настільки великі уламки

кристалічних фаз також були до цього моменту, як мінімум, маловідомими, або й невідомими взагалі.

Силіциди наявні в сипких нелітифікованих конгломератах другого типу. Окрім них у важкій фракції шліхів виявлено супутники алмазів. Останнє, на нашу думку, не дає особливих підстав вважати, що джерелом силіцидів та супутників алмазів є поки що не знайдене тут

кімберлітове тіло. Автори схильні вважати, що ймовірним джерелом силіцидів є виявлений поблизу габро-діоритовий (розшарований до піроксенітів/горнблендитів) масив. Для отримання однозначної відповіді на ці питання у досліджуваному районі продовжено геолого-геофізичне картування ймовірних ділянок локалізації масиву та геологічних тіл основного й ультрамафічного складу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Геворкян В.Х. О находке природного ферросилиция на Северном Приазовье. *Докл. АН СССР*. 1969. **185**. № 2. С. 416–418.
2. Геворкян В.Х., Литвин А.Л., Поваренных А.С. О находке новых минералов ферсидицита и фердисидицита. *Геол. журн.* 1969. **29**. Вып. 2. С. 58–67.
3. Лукин А.Е. Частицы самородных металлов, карбидов и силицидов во вторичных коллекторах нефти и газа — трассеры суперглубинных флюидов. *Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их параметры: материалы Всерос. конф.* (22–25 апр. 2008 г., Москва). М.: ГЕОС, 2008. С. 293–296.
4. Лукин А.Е., Лысенко В.И., Лысенко Н.И., Наумко И.М. О происхождении гераклитов. *Геолог Украины*. 2006. № 4. С. 23–39.
5. Лысенко В.И. Гераклиты — свидетели глубинной палеодегазации в юго-восточной части Паратетиса (Юго-Западный Крым). *Геол. журн.* 2013. № 1. С. 29–37.
6. Новоселова Л.Н. Силициды железа в нижнекембрийских известняках на р. Базаиха (приток Енисея), Красноярский край *Зап. Всесоюз. минерал. об-ва*. 1975. Ч. 104. Вып. 2. С. 228–234.
7. Новоселова Л.Н., Сохор М.И. Муассанит и силициды железа из нижнекембрийских карбонатных пород Алтае-Саянской области. *Зап. Всесоюз. минерал. об-ва*. 1983. Ч. 112. Вып. 5. С. 582–588.
8. Никулова Н.Ю., Филиппов В.Н., Симакова Ю.С., Швецова И.В. Самородный кремний, силицид железа и муассанит в нижнепалеозойских песчаниках хр. Манитаньрд (Полярный Урал). *Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН*. 2011. **193**. № 1. С. 17–18.
9. Тищенко А.И., Касаткин А.В., Шкода Р. Силициды (нагчуит, линьджиит, лобусаит и цангпоит) в сарматских известняках Крыма. *Новые данные о минералах*. 2016. Вып. 51. С. 30–37.
10. Шнюков Е.Ф., Лукин А.Е. О самородных элементах в различных геотектонических зонах Крыма и сопредельных регионов. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2011. № 2. С. 5–30.
11. Ba W., Shi N., Fang Q., Li G., Xiong M., Yang J., Rong H. Luobusaite: a new mineral. *Acta Geol. Sinica* (English edition). 2007. **80**. № 5. P. 656–659.
12. Лазько Е.М., Сиворонов А.А., Бобров А.Б., Гурский Д.С. Металлогения архея. Львов: ЗУКЦ, 2005. 158 с.
13. Essene E.J., Fisher D.C. Lightning strike fusion: extreme reduction and metal-silicate liquid immiscibility. *Science*. 1986. **234**. P. 189–193.
14. Малюк Б.І., Бобров О.Б., Гошовський С.В., Левченко О.І., Камара А.К., Величко Т.В., Янченко В.П. Золоторудний потенціал регіону Західної Африки. Стаття 1. Оцінка ресурсів і запасів золота. *Зб. наук. пр. УкрДГРІ*. 2007. № 3. С. 99–123.
15. Малюк Б.І., Бобров О.Б., Гошовський С.В., Левченко О.І., Камара А.К., Величко Т.В., Янченко В.П. Золоторудний потенціал регіону Західної Африки. Стаття 2. Питання економіки і фінансів. *Зб. наук. пр. УкрДГРІ*. 2007. № 4. С. 96–121.
16. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Т. I. Металлические полезные ископаемые / Науч. ред. Н.П. Щербак, А.Б. Бобров. Киев-Львов: Центр Европы, 2005. 785 с.
17. Shi N., Bai W., Li G., Xiong M., Yang J., Ma Z., Rong H. Naquite, FeSi, a new mineral species from Luobusha, Tibet, Western China. *Acta Geol. Sinica* (English edition). 2012. **86**. № 3. P. 533–538.

Надійшла 04.07.2019

REFERENCES

1. Gevorkyan, V.Kh. (1969), *Dokl. Acad. Sci. SSSR*, Vol. 185, No. 2, Moscow, RU, pp. 416-418 [in Russian].
2. Gevorkyan, V.Kh., Litvin, A.L. and Povarennykh, A.S. (1969), *Geol. Journ.*, Vol. 29. Вып. 2, Kyiv, UA, pp. 58-67 [in Russian].
3. Lukin, A.E. (2008), *Materials All-Russian. conf. (April 22-25, 2008, Moscow)*, GEOS, Moscow, RU, pp. 293-296 [in Russian].
4. Lukin, A.E., Lysenko, V.I., Lysenko, N.I. and Naumko, I.M. (2006), *Geologist of Ukraine*, No. 4, Kyiv, UA, pp. 23-39 [in Russian].
5. Lysenko, V.I. (2013), *Geol. Journ.*, No. 1, Kyiv, UA, pp. 29-37 [in Russian].

6. Novoselova, L.N. (1975), *Zap. Vsesoyuz. mineral. ob-va*, Pt 104, Vol. 2, Leningrad, RU, pp. 228-234 [in Russian].
7. Novoselova, L.N. and Sokhor, M.I. (1983), *Zap. Vsesoyuz. mineral. ob-va*, Pt 112, Vol. 5, Leningrad, RU, pp. 582-588.
8. Nikulova, N.Yu., Filippov, V.N., Simakova, Yu.S. and Shvetsova, I.V. (2011), *Bull. Institute of Geology, Komi SC Ural Branch of RAS*, Vol. 193, No. 1, RU, pp. 17-18 [in Russian].
9. Tischenko, A.I., Kasatkin, A.V. and Skoda, R. (2016), *New data on minerals*, Vol. 51, Fersman Mineral. Museum, Moscow, RU, pp. 30-37 [in Russian].
10. Shnyukov, E.F. and Lukin, A.E. (2011), *Geology and minerals of the World ocean*, No. 2, Kyiv, UA, pp. 5-30 [in Russian].
11. Ba, W., Si, N., Fang, Q., Li, G., Xiong, M., Yang, J. and Rong, H. (2007), *Acta Geol. Sinica* (English Edition), Vol. 80, No. 5, pp. 656-659.
12. Laz'ko, E.M., Sivoronov, A.A., Bobrov, A.B. and Gursky, D.S. (2005), *Archaean metallogeny*, ZUCTS press, Lviv, UA, 158 p. [in Russian].
13. Essene, E.J. and Fisher, D.C. (1986), *Science*, Vol. 234, pp. 189-193.
14. Malyuk, B.I., Bobrov, A.B., Goshovsky, S.V., Levchenko, O.I., Kamara, A.K., Velichko, T.V. and Yanchenko, V.P. (2007), *Proc. of UkrDGRI*, No. 3, Kyiv, UA, pp. 99-123 [in Ukrainian].
15. Malyuk, B.I., Bobrov, A.B., Goshovsky, S.V., Levchenko, O.I., Kamara, A.K., Velichko, T.V. and Yanchenko, V.P. (2007), *Proc. of UkrDGRI*, No. 4, Kyiv, UA, pp. 96-121 [in Ukrainian].
16. Shcherbak, N.P. and Bobrov, A.B. (eds) (2005), *Metallic and non-metallic deposits of Ukraine*, Vol. 1, *Metallic deposits*, Tsentr Evropy, Kyiv-Lviv, 785 p. [in Russian].
17. Si, N., Ba, W., Li, G., Xiong, M., Yang, J., Ma, Z. and Rong, H. 2012, *Acta Geol. Sinica* (English Edition), Vol. 86, No. 3, pp. 533-538.

Received 04.07.2019

А.Б. Бобров¹, Л.М. Степанюк², С.И. Курило²,
С.Н. Бондаренко², С.Д. Какаранза¹, Т.Б. Яськевич²

¹ Предприятие "Экспертный совет Союза геологов Украины"
04070, г. Киев, Украина, ул. Кирилловская, 26/2
E-mail: albobrov@ukr.net

² Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеновко НАН Украины
03142, г. Киев, Украина, пр-т Акад. Палладина, 34
E-mail: stepaniuk@nas.gov.ua, iaskevych@ukr.net

ПЕРВАЯ НАХОДКА СИЛИЦИДОВ И КРЕМНИЯ В ПАЛЕОРОССЫПЯХ ЛЕОНО-ЛИБЕРИЙСКОГО ЩИТА (СЬЕРРА ЛЕОНЕ, ЗАПАДНАЯ АФРИКА)

В среднем течении р. Сева (*Sewa*) из конгломератов и гравелитов второго типа, представленных сыпучими нелитифицированными разностями, были обнаружены металлические фазы разноцветных силицидов (силициды магния, железа, дисилицида магния, железа, кальция, а также самородный кремний) и спутников алмазов. Эти конгломераты содержат галечную компоненту (кварц, гранитоиды тоналитового состава, кристаллические сланцы основного состава, мигматиты, аплиты, эпидозиты) и слабоглинистый песчаный наполнитель. Силициды присутствуют в виде обломков (до 2 см) кристаллических агрегатов. Это уникальные минеральные образования, никогда ранее не описанные в данном регионе. Нами выявлены: 1) дисилицид железа (FeSi_2), определяющий главные элементы микроструктуры этих минеральных композитов в аншлифе; 2) силицид магния (Mg_2Si) беловато-голубого цвета, цементирующий фазу FeSi_2 , количественно значительно ей уступающий и составляющий около 10—20 % объема; 3) дисилицид магния и кальция (MgCaSi_2) розово-кремового цвета, содержание 2—6 %, фаза равномерно рассеяна в основной матрице и имеет вид, типичный для продуктов распада твердых растворов; 4) силицид железа (FeSi) формирует отдельные зерна серого цвета; 5) самородный кремний (Si) формирует мелкие зерна, которые находятся в интерстициях других силицидов, авторы склонны считать, что вероятным источником силицидов служит обнаруженный неподалеку габбро-диоритовый (расслоенный до пироксенитов/горн-блендитов) массив с явными признаками как линейного, так и глобулярного расслоения. Для получения однозначного ответа на эти вопросы продолжается геолого-геофизическое картирование вероятных участков локализации в массиве отдельных геологических тел основного и ультраосновных состава.

Ключевые слова: силициды, дисилициды, самородный кремний, расслоенный габбро-диоритовый массив.

*A.B. Bobrov*¹, *L.M. Stepanyuk*², *S.I. Kurylo*²,
*S.M. Bondarenko*², *S.D. Kakaranza*¹, *T.B. Iaskevich*²

¹ Expert Advice of the Union of Geologists of Ukraine
 26/2, Kyrylivska Str., Kyiv, Ukraine, 04070
 E-mail: albobrov@ukr.net

² M.P. Semenenko Institute of Geochemistry,
 Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
 34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
 E-mail: stepaniuk@nas.gov.ua, iaskevych@ukr.net

THE FIRST FINDING OF SILICIDES AND SILICON IN PALEO-PLACERS
 OF THE LEONE-LIBERIAN SHIELD (SIERRA LEONE, WEST AFRICA)

In the middle course of the Sewa River, from the conglomerates and gravelites of the second type, represented by loose non-lithiated varieties, metal phases of multicolored silicides (magnesium, iron silicides, iron disilicide, iron, calcium, and native silicon) and diamond satellites were found. These conglomerates contain a pebble component (quartz, tonalite granitoids, and crystalline schists of basic composition, migmatites, aplites, and epidiosites) and slightly clayey sandy filler. Silicides are present in the form of large (up to 2 cm) fragments of crystalline aggregates. They are unique mineral formations that have never been described in this region before. We have identified: 1) iron disilicide (FeSi_2), which determines the main elements of the microstructure of these mineral composites in polished sections; 2) whitish-blue magnesium silicide (Mg_2Si) which cements the FeSi_2 phase. Magnesium silicide is significantly minor to it and amounts to about 10–20 % of rock volume; 3) disilicide of magnesium and calcium (MgCaSi_2) of pink-cream color. Its content is estimated at 2–6 %. The phase is uniformly dispersed in the main matrix and has the appearance typical of decomposition products of solid solutions; 4) iron silicide (FeSi) that forms separate grains of gray color; 5) native silicon (Si) that forms fine grains in the interstitial spaces between other silicides. The authors are inclined to believe that the probable source of silicides is a gabbro-diorite (layered to pyroxenites / hornblendites) massif found nearby. It shows clear signs of both linear and globular stratification. For these questions to be unambiguously answered, the geological and geophysical mapping of the probable areas of location within the massif of single geological bodies of basic and ultrabasic composition is in progress.

Keywords: silicides, disilicides, native silicon, stratified gabbro-diorite massif.