МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МИКРОСФЕРУЛЫ В КАРБОНАТИТАХ ЮЖНОГО УРАЛА

В. Г. Кориневский, Е. В. Кориневский, И. А. Блинов, В. А. Котляров

Институт минералогии УрО РАН, Миасс; vgkor@mineralogy.ru

Приводятся первые сведения о находках мелких магнитных микросферул в кальцитовых и доломитовых карбонатах Южного Урала (Ильменских гор). Состав сферул преимущественно железистый с небольшой примесью марганца. Их поперечник не превышает 1 мм. Форма сферическая или слегка вытянутая, иногда полая внутри. Поверхность микросферул гладкая, блестящая, реже матовая, иногда струйчатая в корке. Внутреннее строение шариков скорлуповато-зональное, с пустотами в центре. Характерно наличие дендритовых и шестоватых кристаллов, их плотная упаковка. Эти микроstructures подобны таковым из железных металлургических слитков. Встречаются сростки сферул разного диаметра. По энергодисперсионным спектрам внутренних поверхностей некоторых полых микросфер выявлено наличие в железной матрице необычной для карбонатитов ассоциации элементов: Pt, Ni, Cu, Zn, Cl, Ca. Отсутствие в составе микросферул собственно Ni-фаз, наличие Cl отличает их от подобных образований космического происхождения.

Наряду со столь же редко встречающимися в карбонатитах кристаллами фторапатита и фторфлогопита, форстерита, гранатов, паргасита, саданагаита, ильменита, рутила, диопсида, железистые микросферы рассеяны в карбонатной матрице породы и не обнаруживают приуроченности к трещинам или пропласткам. Поскольку сферы самородного железа в магматических породах кристаллизуются при температурах около 1500 °C, их наличие в карбонатных породах Ильменских гор является еще одним доказательством их магматической природы.

Ключевые слова: карбонатиты, железистые микросферулы, самородное железо, Ильменские горы, Южный Урал.

METALLIC MICROSPHERULES IN CARBONATITES OF THE SOUTHERN URALS

V. G. Korinevsky, E. V. Korinevsky, I. A. Blinov, V. A. Kotlyarov

Institute of Mineralogy UB RAS, Miass

The first data on findings of small magnetic microspherules in calcite and dolomite carbonatites of the Southern Urals (Ilmeny Mountains) are given. The composition of the microspherules is predominantly ferrous with a small admixture of manganese. Their diameter does not exceed 1 mm. Their form is spherical or slightly elongated, sometimes hollow inside. The surface of the microspherules is smooth shiny, rarely matte, sometimes trickle in the crust. The inner structure of the microspherules is shell-zonal, with voids in the center. They are characterized by the presence of dendritic and columnar crystals, their dense packing. These microstructures are similar to those of iron ingots. There are joints of microspherules of different diameter. The presence of an unusual association of elements for carbonatites in the iron matrix (Pt, Ni, Cu, Zn, Cl, Ca) was revealed by energy-dispersion spectrums from the inner surfaces of some hollow microspheres. The absence of the actual Ni-phases in the composition of the balls distinguishes them from similar formations of cosmic origin.

Along with crystals of fluorapatite and fluorophlogopite, forsterite, garnet, pargasite, sadanagaite, ilmenite, rutile, diopside, which are equally rare in carbonatites, ferrous microspheres are scattered in the carbonate matrix of the rock, without detecting adherence to cracks or interlayers. As the microspherules of native iron in igneous rocks are crystallized at temperatures of about 1500 °C, their availability in carbonate rocks of the Ilmeny Mountains is another evidence of their igneous nature.

Keywords: carbonatites, ferrous microspherules, native iron, Ilmeny Mountains, Southern Urals.

Введение

Хорошо известны многочисленные находки металлических шариков в составе древних осадочных толщ: каменноугольных в Предуралье [19], сеноманских в Крыму [6]. Глубоководные глины на дне Тихого океана [2], на дне озёр [22] также содержат округлые микрочастицы металлов. Достаточно аргументированно доказывается, что металлические микросферы в осадочных отложениях являются свидетелями «космических пылевых событий» [6]. Всё чаще стали появляться сообщения о находках таких образований в магматических горных породах Земли [10, 12, 13, 17, 18, 20, 23]. Мелкие сферы железа наблюдались и в составе лунного грунта [1]. Наше сообщение касается пород Урала, в которых прежде металлические микросферы не находили. Речь пойдет о карбонатитах.

Геологическая ситуация

Помимо традиционных для Ильменских гор жил редкометалльных карбонатитов [24] здесь наблюдаются более редкие «безрудные» карбонатиты кальцит-доломитового состава [15, 5]. Они изучались на двух разобщённых участках (рис. 1) на побережье оз. Бол. Миассово у северо-западного берега, в копи 287 и в 3 км южнее, на южном берегу этого озера (Мраморный мыс, копь 228).

В копи 287 широтной канавой на протяжении 13 м вскрыт разрез белых разнозернистых кальцит-доломитовых карбонатитов, в которых имеются участки (полосы) преимущественно среднезернистых доломитовых и кальцитовых разновидностей мощностью 0.7—2 м. Эти породы содержат неравномерно распределённую аксессуарную примесь безжелезистых фтористых флогопита, тремоли-

Рис. 1. Расположение выходов кальцит-доломитовых карбонатитов (звёздочка) на территории Ильменского заповедника: 1 — копь 287, 2 — копь 288 (Мраморный мыс)

Fig. 1. Location of calcite-dolomite carbonatites outcrops (asterisk) on the territory of Ilmeny Reserve: 1 — pit 287, 2 — pit 228 (Mramorniy cape)

та, апатита, ярко-зелёного паргасита, актинолита, диопсида, волластонита, благородной шпинели, корунда, граната, рутила, титанита, скаполита, ортоклаза, серпентина, пирита, псевдоморфоз гётита по пириту, очень редко циркона. Снежно-белые среднезернистые карбонатиты хорошо обнажены в прибрежной западной стенке Мраморного мыса (копь 228). В отличие от копии 287 карбонатиты здесь преимущественно кальцитовые, с очень небольшим количеством доломита, содержащие довольно обильные идиоморфные мелкие пластинки графита со скульптурными поверхностями одновременного роста с кристаллами кальцита и фторапатита. Остальные минералы встречаются в аксессуарных количествах и обнаруживаются лишь после растворения породы в соляной кислоте. Характерно преобладание среди них округлых кристаллов светло-голубоватого фторапатита, иногда содержащих параллельно расположенные синтаксические включения очень тонких пластинок, возможно графита. Примечательно присутствие редких зерен шеелита, оливина, сапфирина, плагиоклаза, граната, диопсида, паргасита, саданагаита, тремолита, серпентина, ильменита, рутила, скаполита, отсутствие в них благородной шпинели, корунда, циркона, ортоклаза. В целом же набор аксессуарных минералов в карбонатитах Мраморного мыса аналогичен таковому из карбонатитов копии 287.

Методы исследования

После дробления образцов карбонатитов, отобранных В. Г. и Е. В. Кориневскими из скального обнажения высотой 5 м (копь 228), с удаленными выветрелыми корками, фракция менее 0.2 мм была отмыта в воде до серого шлиха. Полученный остаток просматривался под бинокулой. Отбор металлических микросфер производился вручную с помощью магнита. С целью контроля более грубозернистая часть пробы весом около 1 кг подвергалась растворению в соляной кислоте (концентрация 15 %) с дальнейшей отмывкой тяжелой фракции в воде. Из неё также было отобрано небольшое количество металлических сферул. Из доломитовых карбонатитов копии 287, из наиболее свежих, без корок выветривания, образцов была составлена проба весом около 15 кг. Она подверглась тем же процедурам, что и проба из копии 228. Морфология микросфер изучалась в отраженных электронах на СЭМ Tescan Vega 3 (аналитик И. А. Блинов). На этом же приборе получены энергодисперсионные спектры с напылённой углеродом поверхности микросфер. Их химический состав в полированных зёрнах определён В. А. Котляровым на СЭМ РЭММА-202 М.

Строение и особенности состава микросфер

В тяжелой фракции менее 0.2 мм светлого кремово-белого среднезернистого кальцит-доломитового карбонатита из копии 287 было обнаружено много магнитных чёрных микросферул с блестящей поверхностью, скорлуповато-концентрического сложения (рис. 2, а). Их поперечник находится в пределах 0.04—0.63 мм. Нередко в их центре наблюдаются полости (рис. 3, с; 4, d), иногда занимающие большую часть объёма микросферы. Встречаются и сросшиеся микросферулы разного диаметра, а также маленькие каплевидные образования на гладкой поверхности шариков. Концентрические зоны в микросферах сложены тонкими призматическими кристаллами, ориентированными перпендикулярно к поверхности сфер (рис 3, f). Стенки полостей имеют струйчато-полигональную поверхность, на которой иногда видны отдельные идиоморфные мелкие кристаллы октаэдрического облика (рис. 3, а). Микросферулы в составе карбонатита занимают сотые доли процента. Несколько микросферул из этого карбонатита было получено и при его растворении в слабой соляной кислоте (вес пробы около 1 кг).

Показательно, что в кальцитовых карбонатитах копии 228 было также обнаружено небольшое количество металлических микросферул (рис. 2, b), морфологически сходных с таковыми из доломитовых карбонатитов копии 287 (рис. 2, a). На матовой поверхности отдельных микросферул здесь хорошо проявлена скелетно-перистая или дендритная структура и прилипшие к ней разноразмерные мельчайшие глобулы (рис. 4, a).

Содержащиеся в карбонатитах аксессуарные минералы (апатит, гранат, амфиболы, оливин, плагиоклаз, эпидот и др.) слагают разобщённые одиночные зёрна, имеющие с вмещающим кальцитом поверхности синхронного роста. Текстура пород повсеместно массивная либо слабopолосчатая, а структура её преимущественно равномерно-среднезернистая. Приуроченности выделений аксессуаров к каким-либо трещинам не отмечено. Вероятно, магнитные сферулы в этих породах имеют аналогичный характер распределения.

Несмотря на различие в составе преобладающих в породе карбонатов, содержащиеся в них микросферулы

Рис. 2. Металлические микросферулы из карбонатитов Ильменских гор: а — морфология микросферул из кальцит-доломитового карбонатита копи 287; б — морфология микросферул из кальцитового карбонатита копи 228 (Мраморный мыс). BSE-фото, Vega 3 Tescan

Fig. 2. The metallic microspherules from the carbonatites of the Ilmeny Mountains: а — morphology of microspherules from the calcite-dolomite carbonatite of pit 287; б — morphology of microspherules from the calcite carbonatite of pit 228 (Mramorniy cape). BSE-photos, Vega 3 Tescan

Рис. 3. Детали строения металлических микросферул из кальцит-доломитовых карбонатитов копи 287: а — округлая полость в центре микросферулы. На ее стенке видны дендритовые кристаллиты оксида железа и октаэдрический кристалл неизвестного состава; б — concentric-zonal строение микросферулы. Внутренняя ее часть неоднородного строения с участками радиального расположения кристаллитов; с — полая колбообразная микросферула; d — дендритовая структура стенки полой микросферулы; е — ядро микросферулы сложено самородным железом, а его оболочка — оксидами железа; f — пластинчатые кристаллиты оксидов железа расположены перпендикулярно к поверхности микросферулы.

а, б, с, d, f — фото в отраженных электронах на сканирующем микроскопе Vega 3 Tescan, е — BSE-фото, РЭММА-202 М

Fig. 3. Details of the structure of metallic microspherules from the calcite-dolomite carbonatites of pit 287: а — rounded cavity in the center of microspherule. On its wall are visible dendrite crystallites of iron oxide and octahedral crystal of unknown composition; б — concentric-zonal structure of the microspherule. Its internal part of the non-homogeneous structure with areas of radial arrangement of crystallites; с — hollow flask-shaped microspherule; d — dendrite structure of the hollow microspherule wall; е — nucleus of the microspherule is composed by native iron, and its shell — by iron oxides; f — plate crystallites of iron oxides are located perpendicular to the surface of the microspherule.

а, б, с, d, f — BSE-photos, Vega 3 Tescan, е — BSE-photos, REMMA-202 M

Рис. 4. Детали строения металлических микросферул из кальцитовых карбонатитов копи 228 (Мраморный мыс): а — скопления мелких шариков на дендритовой поверхности крупной микросферулы; б — скорлуповатое сложение микросферулы. Во внешней корке дендритовые кристаллиты расположены перпендикулярно к поверхности внутреннего ядра микросферулы; с — различие структур поверхности микросферулы и ее внутренней части; d — дендритовая структура стенки полой микросферулы; е — параллельное расположение дендритовых кристаллитов на поверхности микросферулы (деталь рис. 3, с); f — плотная упаковка кристаллитов на внутренней полой поверхности микросферулы (деталь рис. 3, d). BSE-фото, Vega 3 Tescan

Fig. 4. Details of the structure of metallic microspherules from the calcite carbonatite of pit 228 (Mramorniy cape): a — the accumulation of small balls on the dendrite surface of a large microspherule; b — the shell addition of the microspherule. In the outer crust dendrite crystallites are perpendicular to the surface of the inner core of the microspherule; c — the difference between the surface structures of the microspherule and its inner part; d — dendrite structure of the wall of the hollow microspherule; e — parallel arrangement of dendrite crystallites on the surface of the microspherule (detail of Fig. 3, c); f — dense packing of crystallites on the inner hollow surface of the microspherule (detail of Fig. 3, d). BSE-photos, Vega 3 Tescan

обладают близким набором структур. На поверхности микросферул всегда видны плотно прилегающие друг к другу дендритные кристаллы (рис. 4, с, е), которые в подстилающей их корке располагаются перпендикулярно к ней (рис. 3, f; 4, б). На поперечном срезе некоторых микросферул видны участки, где дендриты расположены радиально (рис. 3, б; 4, с). Стенки полых микросферул, имеющих форму колбочек (рис. 3, с; 4, d), сложены скоплениями плотно соприкасающихся весьма тонких дендритов (рис. 3, d; 4, f). Они очень напоминают структуры приповерхностных частей железных слитков [14], что может служить надёжным доказательством формирования железных микросферул в карбонатитах из расплава. Об этом же говорят и слившиеся в ориентированные цепочки мелкие бугры роста на поверхности микросферул.

Об элементном составе микросферул можно судить по полученным энергодисперсионным спектрам (ЭДС) с их поверхностей (рис. 5). По ним видно, что микросферы состоят главным образом из Fe (рис. 5, а, б, d) с примесью Mn, но в некоторых сферах в их составе заметную роль играет Ca с незначительной примесью Si (рис. 5, с). Интересно, что спектр со стенки полости одной из микросферул в кальцитовом карбонатите копи 228 (рис. 5, е) помимо преобладающего и здесь Fe показывает значительные содержания необычного для металлических микросферул из по-

род Земли набора элементов: Pt, Cu, Zn, Ni, Ca в сочетании с большим количеством Cl. В одном из анализов со стенки такой полости обнаружено присутствие SO_3 (1.49 мас. %). Поскольку в ЭДС с наружной поверхности сферул (рис. 5) хлора и серы не обнаружено, возможно эти элементы кристаллизовались на стенках полостей, заполненных хлоридно-сульфатным расплавом. Среди железных дендритов на поверхности полой сферы, внутренняя часть которой обогащена Pt, Cu, Zn, Ni, Ca (рис. 4, d), встречено очень мелкое выделение Cu-Fe-сульфида (рис. 5, f).

Данные ЭДС подтвердились исследованием химического состава отполированных срезов микросферул на СЭМ РЭММА-202 М (см. табл. 1). Основным их объём по количеству Fe (около 70 мас. %) можно считать сложённым кристаллами оксидов железа, в которых всегда в незначительных количествах (десятые доли и первые %) присутствуют SiO_2 и MnO. Реже состав внешней зоны микросферулы (см. табл. 1, ан. 6) соответствует магнетиту (содержание Fe 73.70 мас. %). В ядре одной из микросферул (рис. 3, е; см. табл. 1; ан. 1) сохранилось округлое выделение самородного Fe. Обращает на себя внимание постоянное присутствие в большинстве микросферул в переменных количествах SiO_2 . Очень ощутимой оказалась разница в содержаниях SiO_2 у двух соприкасающихся бугорков на поверхности одной сферы (в ан. 5 — это 4.23 мас. %, в ан. 6 — 0.12 мас. %).

а в ан. 6 — 14.4 мас. %, см. табл. 1). В отличие от микросферул в кальцит-доломитовом карбонатите копи 287 аналогичные по строению микросферулы из карбонатита копи 228 не содержат Al_2O_3 и MgO . Сказанное заставляет предполагать полиминеральный состав оксидно-железистой матрицы микросферул. Об этом свидетельствуют и дан-

ные рентгеновского изучения этих образований (см. табл. 2). На дифрактограммах имеются интенсивные пики, которые могут принадлежать магнетиту, вюстититу и самородному железу и, возможно, какому-то шпинелиду. Микросферулы из кальцитовых карбонатитов копи 228 (Мраморный мыс) обладают более сложным минеральным

Рис. 5. Энергодисперсионные спектры с поверхности металлических микросферул из карбонатитов Ильменских гор: а, b, с — спектры с поверхности микросферул из кальцит-доломитовых карбонатитов копи 287; d—f — спектры с поверхности металлических микросферул из кальцитовых карбонатитов копи 228 (Мраморный мыс); а — см. рис. 3, а; d, с — см. рис. 4, d

Fig. 5. Energy dispersive spectrums of the metallic microspheres from the carbonatites of the Ilmeny Mountains: a, b, c — spectra from the microspheres of the calcite-dolomite carbonatites of pit 287; d—f — spectra of the metallic microspheres from the calcite carbonatites of pit 228 (Mramorniy cape); a — see Fig. 3, a; d, c — see Fig. 4, d

Таблица 1. Состав металлических микросфер в кабанатитах Ильменских гор (мас. %)

Table 1. Composition of metallic microspheres in the carbonatites of the Ilmeny Mountains (wt. %)

№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO_2		4.27	0.80	0.42	4.23	14.14	4.95	0.51	1.60	0.74	2.26
Al_2O_3		0.72	0.22	0.22	1.40	1.94	0.93	—	—	—	—
FeO		90.39	89.39	88.53	90.48	78.06	91.35	90.34	94.82	91.34	94.50
Fe	98.99										
MnO		1.81	0.78	0.39	0.99	1.52	1.48	0.36	1.02	0.45	0.98
Mn	0.28										
MgO					0.60	0.52	0.51	—	—	—	—
CaO											
K_2O											
SO_3											
Сумма / Total	99.27	97.19	91.19	89.56	97.70	96.18	99.22	91.21	97.44	92.53	97.74

Примечание. 1—7 — из кальцит-доломитовых карбонатитов копи 287: 1 — самородное железо, 2 — оксидно-железистая кайма вокруг шарика самородного железа (рис. 3, e), 3—7 — оксидно-железистые микросферулы; 8—11 — оксидно-железистые микросферулы из кальцитовых карбонатитов копи 228 (Мраморный мыс). Пустая клетка — данные отсутствуют, прочерк — не обнаружено.

Note. 1—7 — from calcite-dolomite carbonatites of pit 287: 1 — native iron, 2 — iron oxide rim around a native iron ball (fig. 3, e), 3—7 — iron oxide microspheres; 8—11 — iron oxide microspheres from calcite carbonatites of pit 228 (Mramorniy Cape). Empty cell — no data, dash — not detected.

Таблица 2. Расшифровка дифрактограмм железистых микросферул из карбонатитов Ильменских гор

Table 2. Interpretation of diffraction patterns of ferrous microspherules from carbonatites of the Ilmeny Mountains

Копь 287 / Pit 287		Копь 228 / Pit 228	
d, Å	I, %	d, Å	I, %
2.961	39	2.963	18
		2.743	17
		2.554	38
2.528	100	2.525	100
		2.146	32
2.089	11	2.093	41
2.025	20	2.023	24

Примечание. Дифрактометр ДРОН-2.0 с Fe-анодом, шаг съемки 0.02°, внутренний стандарт кварц. Аналитик П. В. Хворов, Институт минералогии УрО РАН.

Note. Diffractometer DRON-2.0 with Fe-anode, recording step 0.02°, internal quartz standard. Analyst P. V. Khvorov, Institute of Mineralogy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

составом, нежели микросферулы из кальцит-доломитовых карбонатитов копи 228. В изученных микросферулах из карбонатитов титан не обнаружен.

Обсуждение результатов

Существуют две принципиально отличные точки зрения на природу описанных нами карбонатных пород. С одной стороны [8], считается, что в копи 228 имеют место метаморфизованные первично-осадочные породы (мраморы), с другой — в копи 287 наблюдаются выходы магматических пород — карбонатитов [15; 5]. Основанием для заключения об осадочной природе пород Мраморного мыса послужила находка в них разновозрастных зёрен цирконов. В пользу карбонатитовой природы говорят соотношения минералов в породах, форма их выделений, присутствие высокотемпературных парагенезисов, а также большое сходство с карбонатитами «Русской Бразилии» в Пластовском районе (Кучинский карьер), где ими сложены секущие пластовые тела (дайки) [16]. Помочь в разрешении спора могут наши находки металлических микросферул в карбонатных породах Ильменских гор.

До сих пор в магматических породах подобные по составу микросферулы, в том числе самородного Fe, были описаны в траппах Сибири [13], в ультрабазитах [10; 17], в продуктах гидротермального изменения вулканитов [18], в эксплозивных фациях среди осадочных алмазоносных пород [23], в гранитоидах [20; 12], игнимбриках [3]. В карбонатитах они встречены впервые. При описании особенностей структуры металлических микросферул в карбонатитах нами указывалось на их сходство со структурами металлургических слитков [14], что даёт основание для утверждения, что эти образования возникли и росли в карбонатном расплаве с участием летучих хлора и серы.

По представлениям последних лет [9] все микросферулы — это застывшие капли расплавов разнообразного состава (силикаты, металлы, сульфиды, оксиды). Их каплевидная и шаровидная формы свидетельствуют о расплавной природе их вещества и свободновзвешенном на-

хождении самородных фаз в магме [13, с. 200]. Некоторое время они находились в размягченном состоянии, о чём говорят слипшиеся микросферулы. Наиболее благоприятная обстановка для формирования микросферул создаётся при вскипании и дегазации магматического расплава [7]. Повышенная газонасыщенность отделившихся микросферул отражена в их пористости, в наличии полых индивидов (рис. 3, с; 4, d). Это происходит как при извержениях вулканов [21], так и при воздействии на пирокластиты взрывов на фронте ударной волны при декомпенсированном вскипании флюидизированной магмы [23]. Процесс сопровождается прохождением через эту аномальную область магмогенерации восстановленных мантийных флюидов водородного, углеводородного и углекислого состава, что приводит к ликвационному отделению металлических и сульфидных капель от алюмосиликатного (можно добавить — и карбонатного) расплава. Этот механизм обособления металлических микросферул наиболее применим к магматическим породам [13]. «Рудные» капли могут осаждаться из высокотемпературной газовой среды на стенках пор при помощи кавитационного механизма [11] на глубинных горизонтах гидротермальных систем вулканов островных дуг [18], при формировании игнимбриков [3].

Отделившиеся в результате ликвации магмы металлические микросферулы выносятся основной массой расплава на более верхние уровни магматической колонны. Это подтверждается разобранными нами выше примерами с карбонатитами Ильменских гор, где микросферулы находятся в ассоциации со столь же редко встречаемыми высокотемпературными минералами (оливин, гранаты, диопсид, ильменит, рутил, скаполит, циркон, плагиоклаз, ортоклаз, паргасит), которые неизохронны с относительно низкотемпературной вмещающей карбонатной матрицей породы. Самородное железо в траппах кристаллизуется в интервале 1500—1550 °C [13], а сплавы Ti-Fe-Mn-состава, слагающие корковые части многих сферул, образуются при температурах 1200—1500 °C [23]. Таким образом, обнаружение в карбонатитах Ильменских гор железистых микросферул с ядрами из самородного железа, аналоги которых в магматических породах кристаллизуются при температурах 1200—1500 °C, подтверждает магматическую, а не первично-осадочную природу вмещающих их полнокристаллических карбонатных пород. Это вполне согласуется с присутствием в них перечисленных выше высокотемпературных минералов.

Заключение об исходной осадочной природе мраморов с Мраморного мыса на оз. Бол. Миассово в Ильменских горах Урала [8], по нашему мнению, сделано ошибочно из-за некачественного отбора проб, куда вошли образцы из поверхностных частей обнажения, в трещины и поры которых могли попасть переотложенные зерна циркона из окружающих разновозрастных пород. Доказательством этого мнения является отсутствие зерен циркона в отмытой тяжелой фракции протоочки крупнообъемной пробы кальцитовых пород с Мраморного мыса, свежие образцы которых были отобраны из скальной стенки обнажения.

Новые данные по минералогии разобшённых обнажений кальцитовых и кальцит-доломитовых полнокристаллических пород на побережье оз. Бол. Миассово позволяют говорить об их едином магматическом происхождении и принадлежности к семейству специфических карбонатитов, не несущих обычной редкометалльной нагрузки [4].

Литература

1. Барсуков В. Л., Назаров М. А., Тарасов Л. С. Минералогия лунного вещества // Записки ВМО. 1979. № 1. С. 3—14.
2. Грачёв А. Ф., Цельмович В. А., Корчагин О. А. Космическая пыль и странные шарики в древних земных слоях // Земля и Вселенная. 2008. № 5. С. 1—6.
3. Гребенников А. В., Шека С. А., Карабцов А. А. Силикатно-металлические сферулы и проблема механизма игнимбритовых извержений (на примере Якутинской вулканотектонической структуры) // Вулканология и сейсмология. 2012. № 4. С. 3—22.
4. Кориневский В. Г., Кориневский Е. В. Новый тип карбонатитов на Урале // Литосфера. 2013. № 3. С. 43—57.
5. Кориневский В. Г., Кориневский Е. В. Необычная форма включений пирротина в скаполитах магматических пород Южного Урала // Записки РМО. 2015. № 6. С. 74—83.
6. Корчагин О. А. Присутствие микрокристаллических микросфер и микрочастиц в раннем сеномане Крыма — «космическое пылевое событие» // Доклады РАН. 2010. Т. 431. № 6. С. 733—738.
7. Корчагин О. А., Цельмович В. А., Дубинина С. В. Метеоритные микросферы и частицы из глубоководных известняков верхнего кембрия (Батырбай, Южный Казахстан) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. Минералогия, петрография, литология. 2007. № 3. С. 17—22.
8. Краснобаев А. А., Вализер П. М., Чердиченко С. В., Бушарина С. В., Медведева Е. В., Пресняков С. Л. Цирконология карбонатных пород (мраморы-карбонатиты) Ильменно-вишневогорского комплекса (Южный Урал) // Доклады РАН. 2013. Т. 450. № 1. С. 1—6.
9. Лукин А. Е. Минеральные сферулы — индикаторы специфического флюидного режима рудообразования и нафтидогенеза // Геофизический журнал. 2013. Т. 35. № 6. С. 10—53.
10. Малич К. Н., Рудашевский Н. С., Соколова Н. И. Микросферулы из ультрабазитов концентрически-зональных массивов Алданского щита, их генетическое и прикладное значение // Минералогический журнал. 1991. Т. 13. № 4. С. 52—71.
11. Новгородова М. И., Андреев С. Н., Самохин А. А., Гамянин Г. Н. Кавитационные эффекты в образовании минеральных микросферул в гидротермальных растворах // Доклады РАН. 2003. Т. 389. № 5. С. 669—671.
12. Новосёлов К. Л. Генетические особенности самородного железа и продуктов его окисления в девонских гранитоидах алейско-змеиногорского комплекса (северо-западная часть Рудного Алтая) // Известия Томского политехнического ин-та. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 9. С. 56—67.
13. Округин А. В., Олейников Б. В., Заякина Н. В., Лескова Н. В. Самородные металлы в траппах Сибирской платформы // Записки ВМО. 1981. № 2. С. 186—204.
14. Перепелицын В. А. Основы технической минералогии и петрографии. М.: Недра, 1987. 255 с.
15. Попов В. А., Макагонов Е. П., Никандров С. Н. О новых проявлениях карбонатитов на Урале // Уральский минералог. сб. № 8. Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. С. 240—248.
16. Попов В. А., Колесниченко С. В. К минералогии карбонатитов Русской Бразилии на Южном Урале // Уральский минералог. сб. № 15. Миасс: ИМин УрО РАН, 2008. С. 75—84.
17. Пушкарёв Е. В., Аникина Е. В., Гарути Дж., Закарини Ф., Кононкова Н. Н. Металлические и силикатно-оксидные сферулы из ультраосновных пегматитов в дунитах Нижнетагильского платиноносного массива на Среднем Урале (первые данные) // Доклады РАН. 2002. Т. 383. № 1. С. 90—94.
18. Рычагов С. Н., Главатских С. Ф., Сандимирова Е. И. Рудные и силикатные магнитные шарики как индикаторы структуры, флюидного режима и минералорудообразования в современной гидротермальной системе Баранского (о-в Итуруп) // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38. № 1. С. 31—40.
19. Сунгатуллин Р. Х., Сунгатулина Г. М., Закиров М. И., Цельмович В. А., Глухов М. С., Бахтин А. И., Осин Ю. Н., Воробьев В. В. Микросферы космического происхождения в каменноугольных породах разреза Усолка, Предуральский прогиб // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 1. С. 74—85.
20. Тянь В. Д., Ермолов П. В., Попов Н. В., Рафиков Т. К. О магматической природе самородного железа в гранитоидах и продуктах его окисления // Геология и геофизика. 1976. № 5. С. 48—54.
21. Филимонова Л. Г. Закономерности развития вулканизма и рудообразования активизированных тихоокеанских окраин. М.: Недра, 1985. 159 с.
22. Цельмович В. А., Корчагин О. А., Некрасов А. Н., Старченко С. В. Диагностика происхождения магнитных микросфер. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород // Материалы международного семинара по проблемам палеомагнетизма и магнетизма горных пород. 20—24 сентября 2010 г. Санкт-Петербург: Петродворец, 2010. С. 165—171.
23. Чайковский И. И., Коротченко О. В. Эксплозивные минеральные фазы алмазоносных вишеритов Западного Урала // Литосфера. 2012. № 2. С. 125—140.
24. Чердиченко С. В., Котляров В. А. Минералогическая характеристика карбонатитов Ильменогорского миасситового массива (Южный Урал) // Записки РМО. 2014. № 3. С. 105—114.

References

1. Barsukov V. L., Nazarov M. A., Tarasov L. S. *Mineralogiya lunnogo veshchestva* (Mineralogy of lunar substance). Proceedings of RMS, 1979, No. 1, pp. 3—14.
2. Grachev A. F., Tselmovic V. A., Korchagin O. A. *Kosmicheskaya pyl i strannye shariki v drevnikh zemnykh sloyakh* (Cosmic dust and odd balls in ancient earth layers). Earth and universe, 2008, No. 5, pp. 1—6.
3. Grebennikov V. A., Shcheka S. A., Karabtsov A. A. *Silikatno—metallicheskie sferuly i problema mekhanizma ignimbritovykh izverzheniy* (na primere Yakutinskoy vulkanotektonicheskoy struktury) (Silicate-metallic spherules and the problem of the mechanism of ignimbritic eruptions (for example Yakutinskaya volcano-tectonic structures). Volcanology and Seismology, 2012, No. 4, pp. 3—22.
4. Korinevsky V. G., Korinevsky E. V. *Noviy tip karbonatitov na Urale* (A new type of carbonatites in the Urals). Lithosphere, 2013, No. 3, pp. 43—57.
5. Korinevsky V. G., Korinevsky E. V. *Neobichnaya forma vklyucheniya pirrotina v skapolitakh magmaticheskikh porod Yuzhnogo Urala* (Unusual form of inclusions of pyrrhotite in scapo-

lite igneous rocks of the Southern Urals). Proceedings of RMS, 2015, No. 6, pp. 74–83.

6. Korchagin O. A. *Prisutstvie mikrokristallicheskich mikro-sfer i mikrochastits v rannem senomane Kryma — kosmicheskoe pylevoe sobytie* (Presence of microcrystalline microspheres and microparticles in the Early Cenomanian of Crimea — «space dust event»). Doklady Earth Sciences, 2010, V. 431, No. 6, pp. 733–738.

7. Korchagin O. A., Tsel'movic V. A., Dubinina S. V. *Meteoritnye mikrosfery i chastitsy iz glubokovodnykh izvestnyakov verkhnego kembriya* (Meteor microspheres and particles from deep-water limestones of the Upper Cambrian (Batterbay, South Kazakhstan)). Izvestiya of higher educational institutions. Geology and exploration. Mineralogy, petrography, lithology, 2007, No. 3, pp. 17–22.

8. Krasnobaev A. A., Valizer P. M., Cherednichenko S. V., Busharina S. V., Medvedeva E. V., Presnyakov S. L. *Tsirkonologiya karbonatnykh porod (mramory—karbonatity) Ilmenovo-Vishnevogorskogo kompleksa (Yuzhniy Ural)* (Zirconology of carbonate rocks (marbles, carbonatites) of Il'meno-Vishnevogorsky complex (the South Urals)). Doklady Earth Sciences, 2013, V. 450, No. 1, pp. 1–6.

9. Lukin A. E. *Mineralnye sferuly — indikatory spetsificheskogo flyuidnogo rezhima rudoobrazovaniya i naftidogeneza* (Mineral spherules — indicators of specific fluid regime of ore formation and naphthidogenesis). Geophysical journal, 2013, V. 35, No. 6, pp. 10–53.

10. Malich K. N., Rudashevsky N. S., Sokolova N. I. *Mikrosferuly iz ultrabazitov kontsentrirueski-zonalnykh massivov Aldanskogo shchita, ikh geneticheskoe i prikladnoe znachenie* (Microspherules of ultrabasites of concentric—zonal massifs of the Aldan shield, their genetic and applied value). Mineralogical journal, 1991, V.13. No. 4, pp. 52–71.

11. Novgorodova M. I., Andreev S. N., Samokhin A. A., Gamyranin G. N. *Kavitatsionnye efekty v obrzovanii mineralnykh mikrosferul v gidrotermalnykh rastvorakh* (Cavitation effects in the formation of mineral microspherules in hydrothermal solutions). Doklady Earth Sciences, 2003, V. 389, No. 5, pp. 669–671.

12. Novoselov K. L. *Geneticheskie osobennosti samorodnogo zheleza i produktov ego okisleniya v devonskikh granitoidakh aleysko-zmeinogorskogo kompleksa (severo—zapadnaya chast Rudnogo Altaya)* (Genetic features of native iron and the products of its oxidation in the Devonian granitoids of aleyskiy-zmeinogorskiy complex (North-Western part of the Rudniy Altay)). Bulletin of the Tomsk Polytechnic Institute. Engineering of geo—resources, 2015, V. 326, No. 9, pp. 56–67.

13. Okrugin A. V., Oleynikov B. V., Zayakina N. V., Leskova N. V. *Samorodnye metally v trappakh Sibirskoy platformy* (Native metals in traps of the Siberian platform). Proceedings of RMS, 1981, No. 2, pp. 186–204.

14. Perepelitsyn V. A. *Osnovy tekhnicheskoy mineralogii i petrografii* (Fundamentals of technical Mineralogy and Petrography. Moscow: Nedra, 1987 255 p.

15. Popov V. A., Makagonov E. P., Nikandrov S. N. *O novykh proyavleniyakh karbonatitov na Urale* (About new man-

ifestations of carbonatites in the Urals). Ural. mineralogy. sb. No. 8. Miass: IMin UrO RAN, 1998, pp. 240–248.

16. Popov V. A. Kolisnichenko S. V. *K mineralogii karbonatitov Russkoy Brazilii na Yuzhnom Urale* (To Mineralogy of carbonatites of Russian Brazil in the Southern Urals). Ural. mineralogy. sb. No. 15. Miass: IMin UrO RAN, 2008, pp. 75–84.

17. Pushkarev E. V., Anikina E. V., J. Garuti., Zaccarini F., Kononkova N. N. *Metallicheskie i silikatno—oksidnye sferuly iz ultraosnovnykh pegmatitov v dunitakh Nizhnetagil'skogo platinonosnogo massiva na Srednem Urale* (Metallic and silicate-oxide spherules from ultramafic pegmatites in dunites of the Nizhniy Tagil platinum-bearing massif, Middle Urals (first data)). Doklady Earth Sciences, 2002, V. 383, No. 1, pp. 90–94.

18. Rychagov S. N., Glavatskikh S. F., Sandimirova E. I. *Rudnye i silikatnye magnitnye shariki kak indicatory structure, flyuidnogo rezhima i mineraloobrazovaniya v sovremennoy gidrotermalnoy sisteme Baranskogo (o—v Iturup)* (Ore and silicate magnetic balls as indicators of structure, fluid regime of mineral—ore formation in modern Baransky hydrothermal system (Iturup)). Geology of ore deposits, 1996, V. 38, No. 1, pp. 31–40.

19. Sungatullin R. Kh., Sungatullina G. M., Zakirov M. I., Tsel'movic V. A., Glukhov M. S., Bakhtin A. I., Osin Yu. N., Vorob'ev V. V. *Mikrosfery kosmicheskogo proiskhozhdeniya v kamennougolnykh porodakh razreza Usolka, Preduralskiy progib* (Microspherules of cosmic origin in the Carboniferous rocks of the Usolka section, Ural deflection). Geology and Geophysics, 2017, V. 58, No. 1, pp. 74–85.

20. Tyan D. V., Ermolov P. V., Popov N. V., Rafikov T. K. *O magmaticheskoy prirode samorodnogo zheleza v granitoidakh i produktakh ego okisleniya* (About of the igneous nature of native iron in granitoids and products of its oxidation). Russian Geology and Geophysics, 1976, No. 5, pp. 48–54.

21. Filimonova L. G. *Zakonomernosti razvitiya vulkanizma i rudoobrazovaniya aktivizirovannykh tikhoookeanskikh okrain* (Patterns of volcanism and ore formation in the active Pacific margins). Moscow: Nedra, 1985, 159 pp.

22. Tsel'movic V. A., Korchagin O. A., Nekrasov A. N., Starchenko S. V. *Diagnostika proiskhozhdeniya magnitnykh mikrosfer* (Diagnostics of an origin of magnetic microspheres). Paleomagnetism and magnetism of rocks. Proceedings of the international seminar on paleomagnetism and magnetism of rocks. 20–24 September 2010. St. Petersburg: Petrodvorets, 2010, pp. 165–171.

23. Chaikovskiy I. I., Korotchenkova O. V. *Eksplozivnye mineralnye fazy almazonosnykh visheritov Zapadnogo Urala* (Explosive mineral phase diamondiferous visherites of West of the Urals). Lithosphere, 2012, No. 2, pp. 125–140.

24. Cherednichenko S. V., Kotlyarov V. A. *Mineralo—geokhimicheskaya kharakteristika karbonatitov Ilmenogorskogo miaskitovogo massiva (Yuzhniy Ural)* (Mineral—geochemical characteristics of carbonatites of Ilmenogorskiy miaskite massif (Southern Urals)). Proceedings of RMS, 2014, No. 3, pp. 105–114.