

УДК 552.1+553.3

DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-273-282

Металлические и стеклянные сферулы в рыхлых отложениях истоков реки Пут (Средний Урал)

С. Г. Суставов¹, В. А. Душин¹, И. А. Власов², А. К. Трутнев¹,
Е. А. Жуклин¹, Д. И. Прокопчук¹

¹Уральский государственный горный университет, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30,
e-mail: fgg.gpr@m.ursmu.ru

²ОАО “Уралмеханобр”, 620063, г. Екатеринбург, ул. Хохрякова, 87, e-mail: umbr@umbr.ru

Поступила в редакцию 10.07.2020 г., принята к печати 11.11.2020 г.

Объект исследования. В статье рассматриваются экзотические минеральные образования – сферулы (шарики) различного состава и строения, обнаруженные в неогеновых отложениях междуречья рек Пут–Бисерть в пределах восточного крыла Юрюзано–Сылвинской депрессии. **Материалы и методы.** Работа основана на результатах собственных исследований, обобщений анализа доступных данных по подобным образованиям как из современного почвенно–растительного слоя, включая торф и техногенные образования, так и из более древних фанерозойских осадочных, магматических и рудных комплексов. В статье использованы результаты исследований на электронном сканирующем микроскопе “EVO MA 15” фирмы ZEISS с энергодисперсионной приставкой EDS “X-MAX 80” аналитической лаборатории в ОАО “Уралмеханобр”. **Результаты.** Исследовались сферулы трех типов: магнетитового, железохромового состава и оксидов бария и титана, аналогичного стехиометрической формуле санборнита. Поверхность шариков второго типа неоднородна по строению и содержит наросты, отдельные из которых имеют вид уплощенного, квадратного, скелетного кристалла секториального строения. Внутренняя поверхность кристалла имеет мелкоячеистое строение со сложными, вытянутыми ячейками. На периферии кристалла ячейки переходят в полые каналы, указывающие на рост из газовой фазы. По составу секторальный кристалл отвечает твердому раствору между магнезиохромитом и герценитом с примесью никеля, кальция и кремния. У сферул железохромового состава изучена внутренняя микроструктура, имеющая мирмекитовое, двухфазное строение. **Выводы.** Полученные данные свидетельствуют о том, что подобные гетерогенные образования могут быть сформированы только в специфических глубинных флюидонасыщенных высокотемпературных магматических системах и доставлены к поверхности гидротермами по ослабленным тектоническим зонам. Обнаружение этих образований в перекрывающих осадках западного крыла Артинской антиклинали может свидетельствовать о близости крупных флюидоподводящих глубинных структур, контролирующих газопроявление Бухаровское.

Ключевые слова: микросферулы, шарики, осадочные породы, железо-хромовые и магнетитовые частицы, санборнит, Предуральский краевой прогиб

Metallic and glass spherules in the loose deposits of the Put river head (Middle Urals)

Sergey G. Sustavov¹, Vladimir A. Dushin¹, Igor' A. Vlasov², Artem K. Trutnev¹,
Evgeny A. Zhuklin¹, Denis I. Prokopchuk¹

¹Ural State Mining University, 30 Kuibyshev st., Ekaterinburg 620144, Russia, e-mail: fgg.gpr@m.ursmu.ru

²“Uralmechanobr”, 87 Khokhryakov st., Ekaterinburg 620063, Russia, e-mail: umbr@umbr.ru

Received 10.07.2020, accepted 11.11.2020

Research subject. The article examines exotic mineral formations – spherules (balls) of various composition and structure, found in the Neogene sediments of the interfluvium of the Put–Biserter rivers within the eastern wing of the Yurizan–Sylva depression. **Materials and methods.** The work was carried out using the authors' research results, the available data on similar formations both from the modern soil–vegetation layer, including peat and technogenic formations, and from more ancient Phanerozoic sedimentary, magmatic and ore complexes. The article uses the results of studies obtained by a scan-

Для цитирования: Суставов С.Г., Душин В.А., Власов И.А., Трутнев А.К., Жуклин Е.А., Прокопчук Д.И. (2021) Металлические и стеклянные сферулы в рыхлых отложениях истоков реки Пут (Средний Урал). *Литосфера*, 21(2), 273–282. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-273-282

For citation: Sustavov S.G., Dushin V.A., Vlasov I.A., Trutnev A.K., Zhuklin E.A., Prokopchuk D.I. (2021) Metallic and glass spherules in the loose deposits of the Put river head (Middle Urals). *Litosfera*, 21(2), 273–282. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-273-282

© С.Г. Суставов, В.А. Душин, И.А. Власов, А.К. Трутнев, Е.А. Жуклин, Д.И. Прокопчук, 2021

ning electron microscope “EVO MA 15” from ZEISS with an energy-dispersive attachment EDS “X-MAX 80” at the JSC “Mekhanobr” analytical laboratory. *Results.* A detailed study of the surface morphology, dimensions, chemical and mineral composition of three types of spherules – magnetite, iron-chromium composition and barium and titanium oxide, similar to the stoichiometric formula of sanbornite – was carried out. The surface of the balls of the second type is heterogeneous in structure and contains growths, some of which have the form of a flat, flattened, square, skeletal crystal of a sectorial structure. The inner surface of the crystal has a fine-mesh structure. The cells have a complex, elongated structure. At the periphery of the crystal, the cells transform into hollow channels, indicating growth from the gas phase. In composition, the sectorial crystal corresponds to a solid solution between magnesio-chromite and herzenite with an admixture of nickel, calcium and silicon. The internal microstructure of iron-chromium spherules has a myrmekite, two-phase structure. *Conclusions.* The obtained data indicate that such heterogeneous formations can be formed only in specific deep fluid-saturated high-temperature magmatic systems and delivered to the surface by hydrothermal fluids along weakened tectonic zones. The detection of these formations in the overlying sediments of the western wing of the Artinskaya anticline may indicate the proximity of large fluid-supplying deep structures that control the Bukharovskoye gas show.

Keywords: *microspherules, balls, sedimentary rocks, iron-chromium and magnetite particles, sanbornite, Pre-Ural marginal deflection*

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы значительно возрос интерес геологов к достаточно редким среди акцессорных минералов сферическим металлическим и стекловатым микрочастицам. Их размеры обычно не превышают 1 мм и встречаются они как в современном почвенно-растительном слое, включая торфяники и техногенные отложения, так и в более древних фанерозойских осадочных, магматических, метаморфических и рудных образованиях. Изначально геологи обратили внимание на подобные микрочастицы в связи с изучением космического вещества и проблем происхождения Земли (Finkelman, 1970; Бадюков и др., 2011), ее климатических и биотических систем (Ермаков и др., 2009; Глуховский, Кузьмин, 2013; Лозовский и др., 2013). Кроме того, представляется возможность осуществлять глобальные и региональные корреляции немых толщ (Корчагин и др., 2007; Грачев, 2010; Мурдма и др., 2015; Сунгатуллин и др., 2015, 2016). Судя по литературным данным, происхождение подобных образований, как правило, связывалось с природными земными, космическими и техногенными процессами (Грачев, 2010).

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Данное сообщение посвящено морфологии, структуре и составу микросферул извлеченных из четвертичных отложений р. Пут. Исследования проводились в рамках геологического доизучения листа О-40-XXIX (Шалинская площадь) масштаба 1 : 200 000 (ГДП 200/2) в пределах восточного, осложненного крыла Юрюзано-Сылвинской депрессии, и включали широкий перечень профессиональных задач: изучение геологического строения породных и рудных образований, выяснение литологического, геохимического, минералогического состава, тектонических и геоморфологических особенностей территории.

Изучение особенностей морфологии, внутреннего строения и химического состава сферических образований было проведено в аналитической лаборатории научно-исследовательского института ОАО “Уралмеханобр” с помощью сканирующего электронного микроскопа EVO MA15 с энергодисперсионным детектором X-Max 80 при рабочем напряжении на зонде 30 кВ.

СФЕРИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

В геологическом строении рассматриваемой территории (истоки р. Пут) принимают участие нижнепермские отложения, представляющие собой восточное осложнение крыла Юрюзанско-Сылвенской депрессии в восточной краевой части Предуральского краевого прогиба на стыке с Западно-Уральской зоной складчатости. Юрюзано-Сылвенская депрессия расчленена здесь на ряд стратиграфических горизонтов, почти повсеместно перекрытых маломощными четвертичными отложениями (рис. 1).

В основании разреза залегают капысовская и бирсертская свиты нерасчлененные, соответствующие артинскому ярусу нижней перми, представленные ритмично переслаивающимися алевролитами, аргиллитами и песчаниками с небольшими маломощными 0.5–0.7 м прослоями и линзами конгломератов, слагающих ядерную часть Бухаровской антиклинали.

Рыхлые отложения, перекрывающие нижнепермские осадки и покрывающие почти всю территорию в виде маломощного чехла, вскрыты в районе высоты 350 вблизи д. Атяшка серией шурфов. Это неоплейстоценовые отложения валдайского надгоризонта, в составе которого выделены склоновые образования табулдинского горизонта. Они представлены серыми, коричневатыми, желтовато-коричневатыми, умеренно плотными суглинками или глинами с обломками как местных коренных пород, так и галечным материалом среднепалеозойских отложений Западно-Уральской структурно-



Рис. 1. Схематическая геологическая карта района междуречья рек Пут и Бисерть.

1 – отложения Западно-Уральской зоны складчатости (О–С), 2 – отложения Предуралья (Р₁), 3 – граница Западно-Уральской зоны складчатости, 4 – крупные тектонические нарушения, 5 – проявления полезных ископаемых (а – газ, б – минеральные воды), 6 – место отбора проб.

Fig. 1. Schematic geological map of the area of the interfluve rivers Put and Biser't'.

1 – deposits of the West Ural folding zone (O–C), 2 – deposits of the Cis-Ural foredeep (P₁), 3 – the border of the Western Ural folding zone, 4 – large tectonic faults, 5 – manifestations of minerals (a – gas, b – mineral waters), 6 – sampling point.

фациальной зоны. Разрез имеет, как правило, трех-членное строение: 1) почвенно-растительный слой 0–0.15 м, 2) суглинок серый с единичной галькой 0.15–0.5 м, 3) суглинок коричневый 0.5–1.5 м с единичной галькой кварцитов и углефицированными древесными остатками черного цвета на интервале 1.1–1.3 м. Изучение минералогического состава рыхлых отложений горизонта 2 обнаружило следующие минералы: моноклинный пироксен, эпидот, оливин, хлоритоид, частично мартитизированный магнетит, хромшпинелиды, гидроксиды железа, псевдоморфозы лимонита по пириту, редкие знаки циркона, граната, лейкоксена, ильменита, гематита, турмалина, рутила, апатита, титанита ставролита, кианита, корунда, магнитные и стеклянные(?) микросферулы (шарики).

При изучении было выделено три типа микросфер, различающиеся по химическому составу и размерам (табл. 1).

Как видно из химического состава трех видов микросфер, проанализированных с поверхности,

все они содержат два сквозных элемента в переменных количествах алюминий и кремний, что указывает на их генетическую связь.

По частоте встречаемости наименее распространены шарики, представленные в анализе 1 табл. 1. Они имеют правильную сферическую форму и размер 0.15–0.20 мм. На поверхности видно, что они состоят из множества мелких индивидов, размер которых колеблется от 4 до 18 мкм (рис. 2). При выходе на поверхность сферы форма отдельных кристаллитов варьирует от изометричной, близкой к квадратной или треугольной до прямоугольной и даже псевдогексагональной. Поверхность шара не является идеально ровной, на ней видны границы между отдельными блоками, в пределах которых кристаллиты имеют одинаковую форму и ориентировку, и ямки от мелких выпавших кристаллитов. Подобное строение сферы показывает, что в данном случае она не является сферокристаллом, а сложена из отдельных микрокристаллов. Такое возможно только в том случае, ес-

Таблица 1. Исходный химический состав трех типов микросфер**Table 1.** Original chemical composition of three type of microspheres

Элемент	1-1	2-1	2-2	3-1	3-2	3-3
Ca	–	0.5	0.2	2.0	2.5	2.2
Ba	–	–	–	32.0	41.2	36.8
Mg	–	6.3	3.2	–	–	–
Fe	74.2	24.4	15.7	–	–	–
Zn	–	–	–	0.8	1.4	1.1
Al	0.3	6.0	3.9	10.7	0.2	14.6
Cr	–	43.5	64.6	–	–	–
Si	0.4	0.8	1.5	5.0	4.4	4.0
Ti	–	–	–	15.2	20.8	18.0
O	24.8	16.0	10.8	34.3	29.5	23.3
Сумма	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Примечание. 1-1 – первая цифра показывает тип, вторая – номер анализа. 1-1 – Mn (0.3%), 2-1 – Ni (2.5%). Прочерк – элемент не обнаружен.

Note. 1-1 – first figure is the type, second one is the number of analysis. 1-1 – Mn (0.3%), 2-1 – Ni (2.5%). Dash – element not detected.

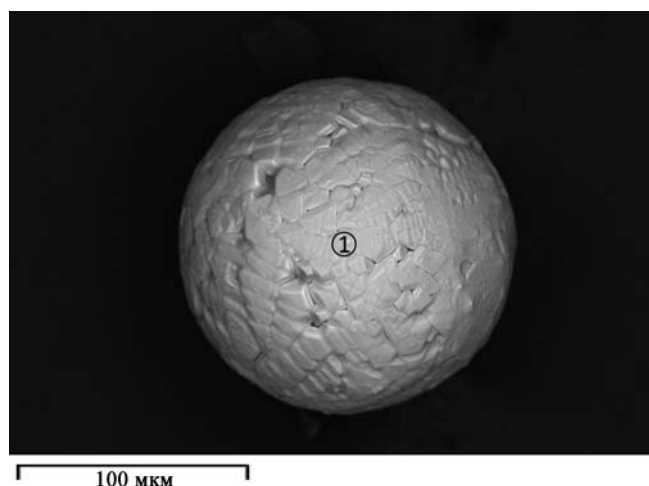


Рис. 2. Внешний вид и строение поверхности магнетитовой сферы (первый тип).

Здесь и далее на рис. 3–5 кружок с цифрой показывает анализируемый участок. Электронно-микроскопический снимок BSD.

Fig. 2. The appearance and structure of the surface of the magnetite sphere (first type).

Here and on Fig. 3–5 the circle with figures indicate analysed plot. Electron microscopical image of BSD.

ли первоначально шарик являлся пузырьком расплава или раствора, который впоследствии раскристаллизовался, в противном случае представить рост зернистого агрегата в виде сферы невозможно.

Шарики первого типа имеют черный цвет, черную черту и обладают сильной магнитной восприимчивостью, т. е. сложены магнетитом.

В химическом составе магнетита установлены следующие оксиды химических элементов, мас. %: FeO – 31.3, Fe₂O₃ – 66.68, MnO – 0.41, Al₂O₃ – 0.64, SiO₂ – 0.97, сумма – 100.0. При пересчете данных анализа формула имеет вид: (Fe_{1.00}Mn_{0.01})_{1.01}(Fe_{1.91}Si_{0.04}Al_{0.03})_{1.98}O₄. Подобные содержания марганца, алюминия и кремния характерны для магнетита скарнов и акцессорного магнетита, образующегося при серпентинизации ультраосновных пород.

Шарики второго типа отличаются от магнетитовых шариков по размерам, форме и строению поверхности (рис. 3). Сферичность их менее выдержана, отдельные участки сферы близки к прямой линии, на поверхности наблюдаются выступы и наросты инородных кристаллических минеральных фаз. В некоторых случаях форма удлиняется, и шарик переходит в эллипсоид. Размеры их колеблются от 0.15 до 0.32 мм.

Строение поверхности шариков второго типа неоднородно и у разных шариков имеет разный вид. Поверхность шарика, представленная на рис. 3а, более ровная, на ней наблюдаются фрагменты плоского скелетного, секториального, кубического кристалла, по составу отличного от состава самого шарика. Размер ребра куба составляет 0.2 мм и покрывает значительную часть видимой полусферы на рисунке. Внутренняя поверхность кристалла имеет мелкоячеистое строение. Конфигурация ячеек редко изометричная, обычно более сложная, как правило, удлиненная, как и стенки между ними. У изометричных размеры составляют от 1 мкм, у вытянутых – до 2–3 мкм, реже до 5 мкм по удлинению при ширине 1–2 мкм. Расположение этих вытянутых ячеек подчеркивает секториальное строение кристалла. К периферии кристалла ячейки укрупняются и переходят в полые кана-

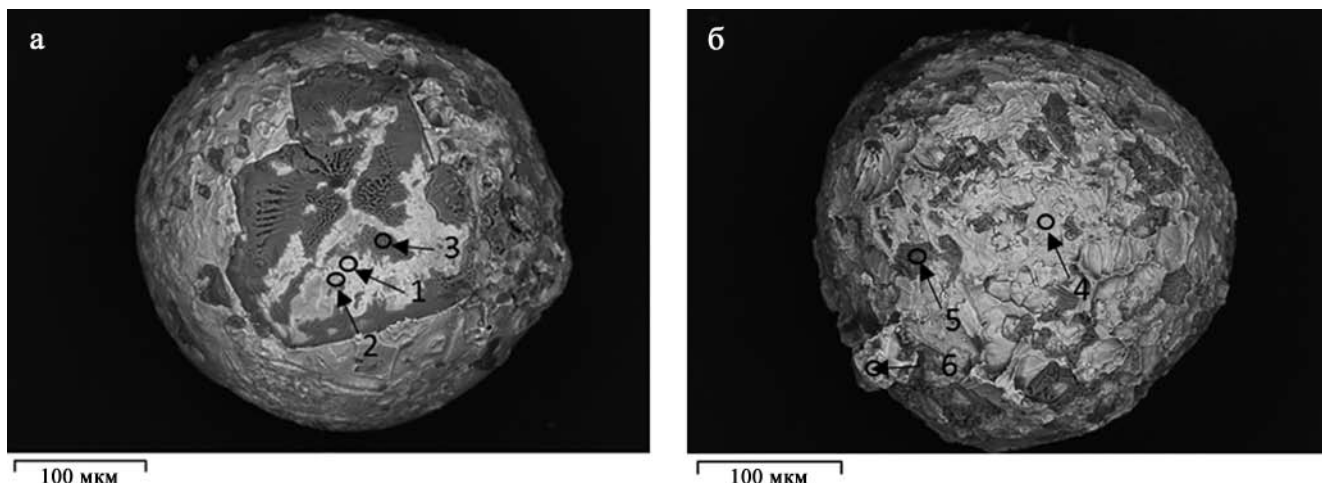


Рис. 3. Форма и строение поверхности шариков второго типа.

а – металлический шарик с инородным скелетным кристаллом на поверхности, б – шарик с отклонениями от сферы и блочной поверхностью с включениями. Электронно-микроскопический снимок BSD.

Fig. 3. The shape and structure of the surface of balls of the second type.

а – metal ball with a foreign skeletal crystal on the surface; б – a ball with deviations from the sphere and a block surface with inclusions. Electron microscopic image of BSD.

лы длиной до 10 мкм. Присутствие полостей-ячеек позволяет предполагать, что рост кристалла происходил при активном участии газовой фазы. Наряду с крупным кристаллом на поверхности имеются более мелкие индивиды данной фазы, имеющие форму прямоугольника, треугольника, квадрата или ромба. Размеры их не превышает 5 мкм.

Поверхность самой сферы содержит две минеральные фазы, различающиеся по цвету: более светлые, почти белые в отраженных электронах и светло-серые участки. Последние имеют вид овальных ламелей, соединенных друг с другом в более сложные агломераты, промежутки между которыми выполняет светлая фаза. В некоторых случаях они имеют форму правильных квадратов, ребра которого несколько возвышаются над поверхностью и имеют светлую окраску. Длина ребра квадрата достигает 10 мкм. На некоторых участках поверхности присутствуют отпечатки корыто- и чашеобразной формы размером 5–7 мкм, от минерала с которым образовался шарик. На других более ровных участках видны тонкие слои роста.

Поверхность шарика на рис. 3б имеет более грубое корытообразное строение. Более крупные выемки, имеющие псевдогексагональные очертания, подразделяются на более мелкие участки удлиненной формы. Последние в пределах выемки все имеют одно направление. Подобное расположение выемок придает поверхности паркетобразное строение. Размер крупных выемок колеблется от 20 до 40 мкм. На поверхности микросферы присутству-

ют реликты псевдогексагональных скелетных образований инородной минеральной фазы. В некоторых случаях наблюдается замещение псевдогексагональной фазы металлической. В их составе просматриваются две фазы: белая и светло-серая, взаимоотношение между которыми прихотливо меняется на разных участках. В отдельных случаях наблюдается псевдозональность фаз в пределах выемки, в других – фаза переходит из выемки в выемку не меняя конфигурации.

Химический состав минеральных фаз, выявляемых на поверхности, приведен в табл. 2.

Светло-серые участки на поверхности шарика (см. рис. 3а) показывают, что основными металлами в составе фазы являются железо, хром и никель (спектр 11). По составу минерал близок к хромфериду, но отношение железа к хрому в нем не 3 : 1, а 2 : 1. Белые участки (спектр 12) отвечают металлическому хрому с небольшой примесью железа, нитридных и оксидных пленок. Состав кубического секториального кристалла на поверхности шарика (спектр 13) при пересчете на оксиды соответствует сложному твердому раствору между магнезиохромитом и герцинитом с примесью никеля, кальция и кремния. Состав минерала близок к составу хромитовой руды Халиловского массива (Бетехтин и др., 1937). Отличительной особенностью является высокое содержание никеля и кальция. В проанализированных участках поверхности у шарика (см. рис. 3б) (спектр 17) также присутствует металлический хром, но с большим содержанием железа. Изучение первых находок металлического хрома в

Таблица 2. Химический состав минеральных фаз на поверхности микросфер второго типа**Table 2.** Chemical composition of mineral phases on the surface of microsphere second type

Элемент	Спектры					
	11	12	13	15	16	17
Ca	—	—	0.4	—	—	—
Mg	—	—	11.1	—	12.4	—
Fe	63.2	5.2	6.8	13.2	4.0	12.4
Ni	6.1	—	0.5	—	—	—
Cr	30.4	92.2	42.1	83.9	30.9	84.1
Al	0.3	0.3	10.2	0.4	14.1	0.4
Si	—	—	0.9	0.3	1.9	0.2
O	—	2.3	28.0	2.2	36.7	2.9
Сумма	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
$11 - (\text{Fe}_{1.85}\text{Ni}_{0.17})_{2.02}(\text{Cr}_{0.96}\text{Al}_{0.02})_{0.98}$ $13 - (\text{Mg}_{0.69}\text{Fe}_{0.21}\text{Ni}_{0.02}\text{Ca}_{0.02})_{0.94}(\text{Cr}_{1.37}\text{Al}_{0.61}\text{Si}_{0.05})_{2.03}\text{O}_4$ $15 - \text{Fe}_{0.38}(\text{Cr}_{2.58}\text{Al}_{0.02}\text{Si}_{0.02})_{2.62}$ $16 - (\text{Mg}_{0.85}\text{Fe}_{0.12})_{0.97}(\text{Cr}_{0.99}\text{Al}_{0.88}\text{Si}_{0.11})_{1.98}\text{O}_4$ $17 - \text{Fe}_{0.36}(\text{Cr}_{2.61}\text{Al}_{0.02}\text{Si}_{0.01})_{2.64}$						

Примечание. Прочерк – элемент не обнаружен.

Note. Dash – element not detected.

серпентинитах Кайрактинского массива (Новгородова, 1983) показало, что при содержании железа выше 12 мас. % хром характеризуется ультратонким срастанием двух минералов ферхромита и хромферита. В данном случае происходит переход минерала в ферхромид. Хромовая шпинель, образующая включения во втором шарике, содержит меньше хрома и железа, больше алюминия и кремния.

Для изучения внутреннего строения металлических шариков второго типа один из них был последовательно срезан и отполирован (рис. 4).

На полученных срезах видно, что шарики второго типа представлены мирмекитовыми срастаниями двух минералов темно-серого и светло-серого (Рамдор, 1962). Соотношение минералов в срастании приблизительно одинаковое. Форма мирмекитов зависит от размеров. Мирмекиты, размеры которых не превышают 3–5 мкм, имеют округлые или слегка овальные формы, реже встречаются угловатые или копьевидные. В некоторых случаях они напоминают раздробленные выделения и имеют оскольчатое строение. С увеличением размеров они очень часто удлиняются вплоть до веретеновидных. Усложняется строение одной из сторон мирмекита, на нем появляются округлые заливы или выступы. На разных участках поверхности мирмекиты имеют различную ориентировку. Это позволяет говорить о блочном строении шарика, которое видно и на поверхности.

Химический состав мирмекитов и матрицы представлен главным образом двумя элементами: хромом и железом с незначительной примесью никеля (табл. 3).

Таким образом, темно-серый минерал (спектры 28, 29, 32) представлен железистым хромом, состав которого приближается к формуле Cr_8Fe , светло-серый минерал матрицы (спектр 31, 33, 34) имеет состав, близкий к формуле CrFe . В спектре 34 количество хрома заметно увеличивается, и формула при расчете на три формульные единицы приобретает вид Cr_2Fe .

Впервые самородный хром был обнаружен в серпентинитах Кайрактинского массива ультрабазитов на Южном Урале (Новгородова, 1983). Он был установлен в изометричных зернах микронных размеров в хромите по трещинам и сопровождался тонкочешуйчатым фукситом. Железистый хром встречается позднее в том же районе в кварцевых жилах и участках брекчирования амфиболитов, где вместе с интерметаллидами образует срастания с амфиболами и слюдами (Новгородова и др., 1986).

Шарики третьего типа имеют размеры существенно меньше первых двух – от 0.06 до 0.07 мм – и, в отличие от первых двух, стеклянный блеск. Форма их может быть идеально сферичной, а может быть слегка сплюснутой и содержать различные дефекты (рис. 5). Окраска их молочно-белая, при попадании на поверхность прямого светового

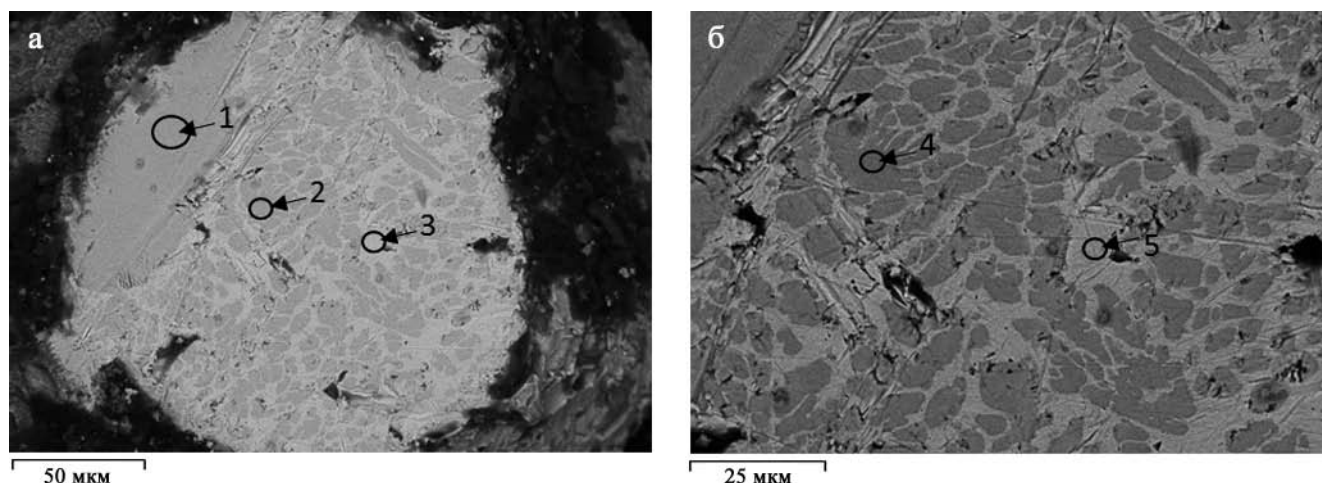


Рис. 4. Внутреннее строение шариков второго типа.

а, б – снимки при разном увеличении. Электронно-микроскопический снимок BSD.

Fig. 4. Internal structure of balls of the second type.

а, б – pictures with different increase. Electron microscopic image of BSD.

Таблица 3. Химический состав металлических фаз внутри шариков второго типа

Table 3. Chemical composition of metallic phases inside of second type balls

Элемент	Спектры					
	28	29	31	32	33	34
Cr	88.2	88.3	52.0	88.2	51.9	59.2
Fe	11.8	11.7	47.3	11.8	47.2	40.1
Ni	–	–	0.7	–	0.9	0.7
Сумма	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Примечание. Прочерк – элемент не обнаружен.

Note. Dash – element not detected.

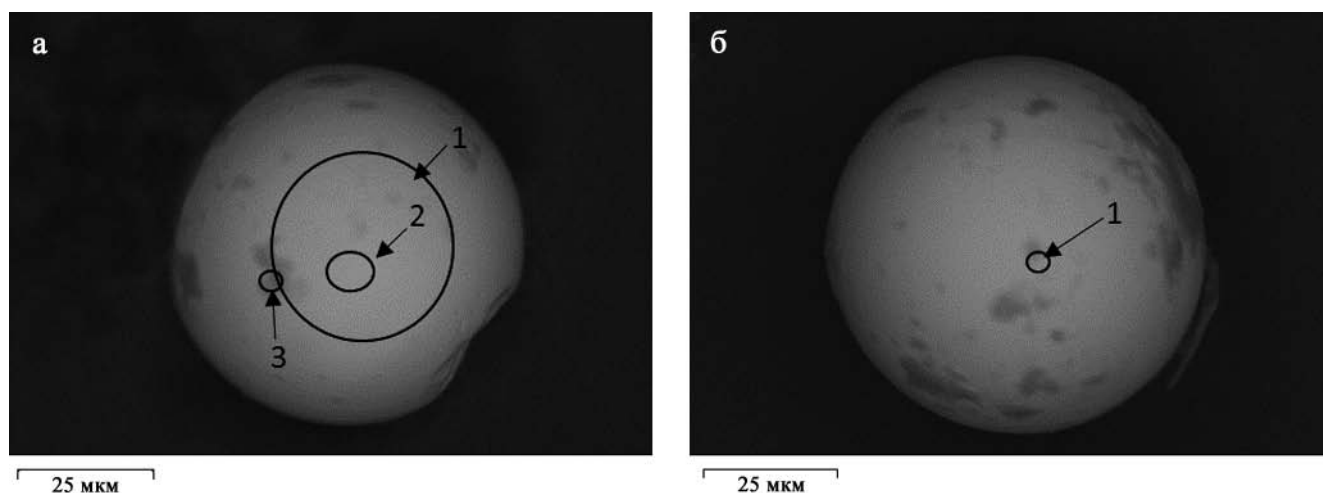


Рис. 5. Внешний вид шариков третьего типа.

2а, 1б – разная степень сферичности шариков. Электронно-микроскопический снимок BSD.

Fig. 5. Appearance of balls of the third type.

2а, 1б – different degrees of sphericity of the balls. Electron microscopic image of BSD.

Таблица 4. Химический состав шариков третьего типа

Table 4. Chemical composition of third type balls

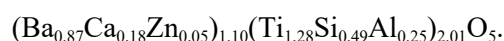
Элемент	Спектры				
	19	20	21	22	23
K	–	–	0.2	–	–
Mg	–	–	0.7	–	–
Ca	2.5	2.6	2.4	2.4	2.2
Ba	41.1	42.4	28.9	39.4	37.6
Zn	1.1	1.2	0.8	1.1	1.1
Al	2.3	0.2	5.0	–	13.9
Ti	20.9	20.5	14.3	20.2	17.9
Si	5.0	5.2	8.1	4.8	4.1
O	27.1	27.8	38.6	32.1	23.2

Примечание. Прочерк – элемент не обнаружен.

Note. Dash – element not detected.

го пучка блеск смотрится, как перламутровый, что свидетельствует о возможном слоистом строении минерала. На поверхности шариков наблюдаются мелкие серые области разной конфигурации, которые, если их соотнести с химическим составом этих участков (табл. 4), указывают на их примесный характер.

Химический состав шариков третьего типа приведен в табл. 4. Основными химическими элементами (мас. %), входящими в состав шариков, являются Ba (39.4–42.4), Ti (17.9–20.9), Si (4.1–5.2). В качестве примесей в них постоянно присутствует Ca – 2.2–2.6, Zn – 1.1–1.2, в некоторых встречается Al – 0.2–2.3 мас. %. При пересчете содержаний элементов на соответствующие оксиды и расчете формулы минерала она имеет следующий вид:



Эмпирическая формула – BaTi_2O_5 .

Природным аналогом данного минерала служит слоистый силикат бария – санборнит, имеющий эмпирическую формулу BaSi_2O_5 . Все достоверные находки санборнита связаны с районом баритового месторождения Эль-Порто в Калифорнии (США). Санборнитовая минерализация приурочена к экзо- и эндоконтактовым изменениям гранитов с вмещающими кварцитами (Rogers, 1932).

Изоморфизм в ряду санборнит– BaTi_2O_5 ограничен в связи с большим различием ионных радиусов четырехвалентных кремния и титана. Природный титановый аналог санборнита среди природных соединений до настоящего времени не известен.

ВЫВОДЫ

Подводя итоги исследования сферических образований, установленных в рыхлых отложениях валдайского надгоризонта можно отметить следующее. Все три типа микросфер являются природ-

ными образованиями и, несмотря на резкое различие в химическом составе, связаны в конечном счете с единым геологическим процессом. На это указывает присутствие одинаковых элементов-примесей, кремния и алюминия. Необычность находки заключается в том, что на ограниченном участке на глубине 0.5 м в рыхлых отложениях выявлены три типа микросфер разного минерального состава. Первый тип представлен магнетитовыми шариками, которые периодически встречаются в аллювиально-делювиальных отложениях разных участков Урала (см. 1-1, табл. 1).

Находка сферических выделений второго типа, представленных железистым хромом, в настоящее время является первой. Экспериментальное изучение бинарной системы Fe–Cr показало, что промежуточные фазы в ней кристаллизуются в результате твердофазных реакций упорядочения. Стабильным в системе является соединение FeCr, устойчивое до температуры 815°C (Хансен и др., 1962). Матрица шариков данного типа представлена устойчивой минеральной фазой FeCr, которая ранее была известна только в металлургии. Мирмекиты, присутствующие в матрице, отвечают железистому хрому, состав которого приближается к ферхромиду. Форма выделения мирмекитов отличается от таблитчатых и пластинчатых выделений ферхромида, описанного ранее (Новгородова, 1984). Образование железистого хрома происходило в матрице шарика в результате твердофазных реакций. В процессе дальнейших преобразований некоторые мирмекиты испытали механические деформации. Присутствие на поверхности шариков реликтов твердого раствора магнезиохромита с герцинитом свидетельствует об их образовании в выделениях этой хромитовой шпинели.

Подобные гетерогенные микросферы кремнисто-хромистого железа, находящиеся среди углеродистого вещества в тектонических трещинах зоны

разлома, секущего кварц-альбит-серицит-хлоритовые сланцы Панкратского месторождения, описаны в Таджикистане (Новгородова и др., 1981).

Сферические выделения третьего типа представлены титановым аналогом санборнита. Этот минерал до настоящего времени не был известен и требует доизучения. Дифракционная картина не была получена в связи с малым количеством вещества. Санборнит, в отличие от минералов, встреченных в шариках первых двух типов, установлен в контактовой зоне изменения гранитов и кварцитов (Корчагин и др., 2010).

В настоящее время рудные и силикатные магнитные шарики, представленные самородным железом, магнетитом, Fe-Ti-Mn-силикатные (гранат типа шорломита) и зональные с ядром из железа и оторочкой из магнетита с иоцитом рассматриваются как индикаторы структуры флюидного режима и рудообразования в современной гидротермальной системе о-ва Итуруп. Предполагается, что шарики привнесены в метасоматиты “сухим” восстановленным флюидом, имеющим температуру не менее 500–600°C, с глубин >1.5–2.0 км (Рычагов и др., 1996).

Изученный материал свидетельствует о том, что охарактеризованный гетерогенный набор сферических глобул мог сформироваться только в своеобразных флюидонасыщенных высокотемпературных магматических (очаговых) системах и доставлен к поверхности гидротермами по ослабленным тектоническим зонам глубинного заложения. Находка этих образований в пределах западного осложненного крыла Артинской антиклинали может служить одним из доказательств близости крупных флюидоподводящих глубинных структур, что в нашем случае подтверждается наличием зоны Атяшкского нарушения, контролирующей газопроявление Бухаровское.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бадюков Д.Д., Иванов А.В., Райтала Й., Хисина Н.Р. (2011) Сферические микрочастицы из района Тунгусского события: может ли их источником быть Тунгусское космическое тело? *Геохимия*, (7), 675–689.
- Бетехтин А.Г., Кашин С.А. (1937) Халиловские месторождения хромистого железняка на Южном Урале. *Хромиты СССР*. М.: Изд-во АН СССР. Т. 1, 158 с.
- Глуховский М.З., Кузьмин М.И. (2013) Котуйканская кольцевая структура: возможное свидетельство масштабного импактного события на севере Сибирского кратона. *Геология и геофизика*, **54**(1), 3–26.
- Грачев А.Ф. (2010) К вопросу о природе космической пыли в осадочных породах. *Физика Земли*, (11), 3–13.
- Ермаков В.И., Охлопков В.П., Стожков Ю.И. (2009) Влияние космической пыли на климат Земли. *Вестн. МГУ, Сер. 3, Физика. Астрономия*, (2), 100–102.

- Корчагин О.А., Цельмович В.А., Дубинина С.В. (2007) Метеоритные микросферы и частицы из глубоководных известняков верхнего кембрия (Батырбай, Южный Казахстан). *Изв. вузов. Геология и разведка*, (3), 17–22.
- Корчагин О.А., Цельмович В.А., Поспелов И.И., Цяньтао Бинь. (2010) Космические магнетитовые микросферы и металлические частицы вблизи границы пермь–триас в точке глобального стратотипа границы (слой 27, Мэйшань, Китай). *Докл. АН*, **432**(2), 232–238.
- Лозовский В.Р. (2013) Пермотриасовый кризис и его возможная причина. *Бюл. МОИП. Отд. геол.*, **88**(1), 49–58.
- Мурдма И.О., Печерский Д.М., Нургалиев Д.К., Кузина (Гильманова) Д.М., Слоистов С.М. (2015) Самородное железо космического происхождения в глубоководных отложениях Северо-Западной Атлантики по данным термомагнитного анализа *Литология и полезные ископаемые*, (2), 129–147.
- Новгородова М.И. (1983) Самородные металлы в гидротермальных рудах. М.: Наука, 287 с.
- Новгородова М.И., Горшков А.И., Трубкин И.В., Цепин А.И., Дмитриева М.Т. (1986) Новые природные интерметаллические соединения железа и хрома – хромферид и ферхромид. *Записки ВМО*, Ч. СХV. Вып. 3, 355–360.
- Новгородова М.И., Юсупов Р.Г., Лапутина И.П., Цепин А.И., Дмитриева Т.М. (1981) Самородный хром и природные соединения системы Fe–Cr–Si. *Докл. АН СССР*, **256**(4), 958–961.
- Рамдор П. (1962) Рудные минералы и их сростания. М.: Иностранная литература, 1132 с.
- Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Сандимирова Е.И. (1996) Рудные и силикатные магнитные шарики как индикаторы структуры, флюидного режима и минералорудообразования в современной гидротермальной системе Барановского (о-в Итуруп). *Геология руд. месторождений*, **38**(1), 31–40.
- Сунгатуллин Р.Х., Сунгатуллина Г.М., Глухов М.С., Осин Ю.Н., Воробьев В.В. (2015) Возможности использования космических микросфер при корреляции нефтегазоносных отложений. *Нефть. хозяйство*, **32**, 16–19.
- Сунгатуллин Р.Х., Цельмович В.А., Вафин Р.А., Сунгатуллина Г.М. (2016) Геоморфологические и геолого-минералогические признаки импактного происхождения озерной котловины Рабига Куль, Республика Татарстан. *Геоморфология*, (1), 64–72.
- Хансен М., Анерко К. (1962) Структура двойных сплавов. М.: Металлургиздат, 556–564.
- Finkelman R.B. (1970) Magnetic particles extracted from manganese nodules: suggested origin from stone and iron meteorites. *Science*, **167**, 982–984.

REFERENCES

- Badyukov D.D., Ivanov A.V., Raitala Y., Khisina N.R. (2011) Spherical microparticles from the Tunguska event area: can their source be the Tunguska cosmic body? *Geokhimiya*, (7), 675–689. (In Russian)
- Betekhtin A.G., Kashin S.A. (1937) Khalilovsky deposits of chromic ironstone in the southern Urals. *Khromity SSSR*.

- Moscow, Publishing house of the SSSR Academy of Sciences. Vol. 1, 158 p. (In Russian)
- Ermakov V.I., Okhlopkov V.P., Stozhkov Yu.I. (2009) Influence of space dust on the Earth's climate. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 3, Fizika, Astronomiya*, (2), 100-102. (In Russian)
- Finkelman R.B. (1970) Magnetic particles extracted from manganese nodules: suggested origin from stone and iron meteorites. *Science*, **167**, 982-984.
- Glukhovskii M.Z., Kuz'min M.I. (2013) Kotuikan ring structure: possible evidence of a large-scale impact event in the North of the Siberian craton. *Geol. Geofiz.*, **54**(1), 3-26. (In Russian)
- Grachev A.F. (2010) On the nature of cosmic dust in sedimentary rocks. *Fizika Zemli*, (11), 3-13. (In Russian)
- Hansen M., Anerko K. (1962) Structure of double alloys. Moscow, Metallurgizdat Publ., 556-564. (In Russian)
- Korchagin O.A., Tsel'movich V.A., Dubinina S.V. (2007) Meteor microspheres and particles from deep-water limestones of the Upper Cambrian (Batterby, South Kazakhstan). *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Geol. Razved.* (3), 17-22. (In Russian)
- Korchagin O.A., Tsel'movich V.A., Pospelov I.I., Canto Binh. (2010) Cosmic magnetite microspheres and metal particles near the Permian-Triassic boundary at the point of the global stratotype boundary (layer 27, Meishan, China). *Dokl. Akad. Nauk*, **432**(2), 232-238. (In Russian)
- Lozovskii V.R. (2013) Permo-Triassic crisis and its possible cause. *Bul. MOIP. Geol.*, **88**(1), 49-58. (In Russian)
- Murdma I.O., Pecherskii D.M., Nurgaliev D.K., Kuzina (Gil'manova) D.M., Sloistov S.M. (2015) Native iron of cosmic origin in deep-water deposits of the North-Western Atlantic according to thermomagnetic analysis. *Litol. Polezn. Iskop.*, (2), 129-147. (In Russian)
- Novgorodova M.I. (1983) Native metals in hydrothermal ores. Moscow, Nauka Publ., 287 p. (In Russian)
- Novgorodova M.I., Gorshkov A.I., Trubkin I.V., Tsepin A.I., Dmitrieva M.T. (1986) New natural intermetallic compounds of iron and chromium-chromferide and ferchromide. *Zapiski WMO*, Pt CXV. Iss. 3, 355-360. (In Russian)
- Novgorodova M.I., Yusupov R.G., Iaputina I.P., Tsepin A.I., Dmitrieva T.M. (1981) Native chromium and natural compounds of the Fe-Cr-Si system. *Dokl. AN SSSR*, **256**(4), 958-961. (In Russian)
- Ramdor P. (1962) Ore minerals and their fusion. Moscow, Inostr. Literatura Publ., 1132 p. (In Russian)
- Rychagov S.N., Glavatskikh S.F., Sandimirova E.I. (1996) Ore and silicate magnetic balls as indicators of structure, fluid regime and mineral formation in the modern Baranovsky hydrothermal system (Iturup island). *Geol. Rud. Mestorozhd.*, **38**(1), 31-40. (In Russian)
- Sungatullin R.H., Sungatullina G.M., Glukhov M.S., Osin Yu.N., Vorob'ev V.V. (2015) Possibilities of using space microspheres for correlation of oil and gas deposits. *Neftyanoe Khozyaistvo*, **32**, 16-19. (In Russian)
- Sungatullin R.H., Tsel'movich V.A., Vafin R.A., Sungatullina G.M. (2016) Geomorphological and geological-mineralogical features of impact origin of the lake basin Rabiga Kul, Republic of Tatarstan. *Geomorfologiya*, (1), 64-72. (In Russian)