

Морфология и внутреннее строение природных и техногенных железоксидных микросфер

Михаил Сергеевич ГЛУХОВ*

Казанский федеральный университет, Россия, Казань

Актуальность работы: происхождение железоксидных микросфер связано с космическими, земными (абиогенные, биогенные) и техногенными процессами. Изучение подобных объектов важно для познания минералообразования на Земле, строения и состава космических тел, роли техногенных процессов в образовании новых минералов. Обнаружение микросфер в осадочных толщах помогает дополнить методы корреляции разнофациальных толщ на глобальном, региональном и местном уровнях, а также помогает в поисках стратифицируемых полезных ископаемых.

Цель работы: изучение особенностей внутреннего строения природных и техногенных железоксидных микросфер. Основные задачи: изучение порового пространства и возможных текстур, проверка наличия дифференциации вещества.

Методология исследования: Все изучаемые объекты отбирались из порошковых проб с помощью постоянного и неодимового магнитов. С помощью микротомографии изучены отобранные из магнитной фракции железоксидные микросферы из импактитов кратера Рис, из верхнепалеозойских пород востока Восточно-Европейской платформы и Предуральского прогиба, и техногенные (сварочные) микросферы. Те же объекты в полированных срезах исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии.

Результаты. Изучение объектов рентгеновской компьютерной микротомографией в двухмерном и трехмерном пространстве показало различия в пустотном пространстве техногенных и природных микросфер. Различия подтверждены электронной микроскопией. Дифференциация вещества в железоксидных микросферах подтверждена томографическими исследованиями и электронной микроскопией. Для внутренней части железоксидных микросфер из импактитов кратера Рис изучен химический состав. Примитивность химического состава подтверждает их космическое происхождение.

Выводы. Совместное использование традиционного подхода с прецизионными методами приближает расшифровку генезиса микрообъектов.

Ключевые слова: железоксидные микросферы, микротомография, электронная микроскопия, пустотное пространство, дифференциация вещества.

Введение
Масштабы находок железоксидных (суммарное содержание кислорода и железа 96–100 %) микросфер обширны: древние осадочные породы, аллювий современных рек, пустыни, дно морей и океанов, снежный покров Антарктиды, техногенные отложения [1–10]. Происхождение подобных образований вызывает споры в научном сообществе: рассматриваются космические, техногенные, земные абиогенные и биогенные гипотезы [11, 4–14, 15, 16, 22]. При этом изучение железоксидных микросфер с помощью современных прецизионных методов (включая и неразрушающие) способно дать новую важную информацию о минералообразовании на Земле, о строении и составе космических тел, о роли техногенных процессов в образовании новых минералов. Кроме того, нахождение микросфер в осадочных толщах может выступать дополнительным инструментом при корреляции разнофациальных толщ и поисках стратифицируемых полезных ископаемых [17].

Ранее исследователи для обоснования происхождения железоксидных микросфер использовали ряд параметров. Так, например, металлический блеск, идеальная сферичность, наличие таких элементов-примесей, как никель и хром, отсутствие титана характерны для космических микросфер [12, 18, 19]. Природные и техногенные образования имеют значительно более широкий набор элементов-примесей – до 10–15 [5, 13, 15, 16, 20, 22]. Текстура поверхности, включая и внутреннюю, полированных срезов, в виде шестигранников, треугольников, дендритов, клубков и мозговидной формы в основном присуща космическим и природным микросферам и значительно реже – техногенным [5, 13, 15, 16, 18]. Отсутствие обожженной поверхности и наличие устойчивой к окислению корочки характерно для космических и некоторых природных микросфер [19]. Анализ литературы позволил разделить природные «сферулы», образованные в земных условиях без техногенного влияния, на эндогенные, возникшие в процессе застывания магмы или из продуктов извержения вулканов [5, 6] и биогенные [11, 14]. Для эндогенных характерна вытянутая, приплюснутая и каплевидная форма, для биогенных – близкая к сферической. Текстура поверхности биогенных сферул гладкая или комковатая, тогда как в эндогенных микросферах текстура поверхности разнообразная.

Настоящее исследование посвящено поиску дополнительных характеристик железоксидных микросфер различного генезиса. Объектами исследования явились природные магнитные микросферы, извлеченные при помощи постоянного и неодимового магнитов из порошкообразных проб импактного кратера Рис (нем. Nördlinger Ries), Германия, из керна скважин и обнажений востока Восточно-Европейской платформы и Предуральского прогиба, а также объекты техногенного происхождения – микросферы от сварки (рис. 1–3). К основным задачам данного исследования относилось изучение внутреннего строения микросфер в полированных срезах и порового пространства микросфер. Для этого применялись электронные микроскопы Phillips XL-30 и Vega 3 Tescan sbu, оснащенные энергодисперсионными спектрометрами, при ускоряющем напряжении 20–25 кэВ и рабочем отрезке 8,9–15 мм; глубина зондирования составляла 1 мкм; точность измерения 0,1–1 %. На микроскопе Phillips XL-30 (КФУ, аналитик Б. М. Галиуллин) образцы изучены без напыления с использованием низкого вакуума; на микроскопе Vega 3 Tescan sbu (ИМин УрО РАН, аналитик И. А. Блиннов) проводилось напыление образцов углеродом. Неразрушающие (неинвазивные) исследования порового пространства микросфер проводились на рентгеновском микротомографе Phoenix V|tome|X S 240 с нанофокусной рентгеновской трубкой с максимальным ускоряющим напряжением 180 кВт и мощностью 15 В (КФУ, аналитик Е. О. Стаценко).

* gluhov.mikhail2015@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5075-7066>

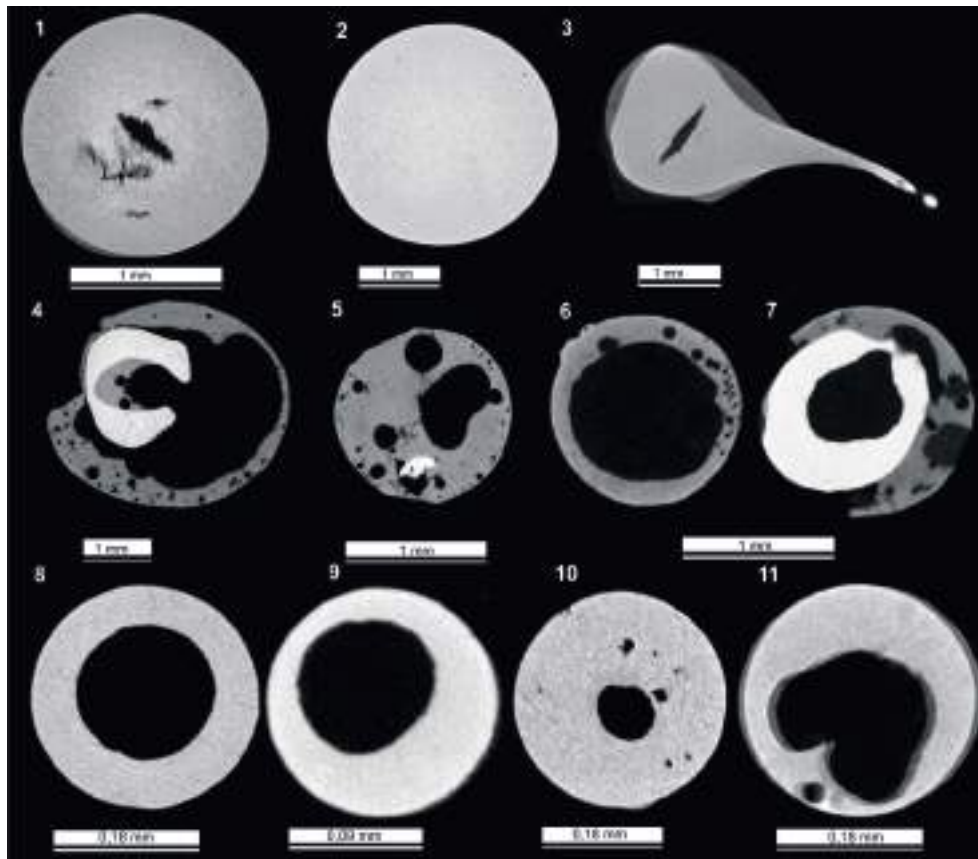


Рисунок 1. Рентгеномографический срез двухмерного изображения железоксидных микросфер. 1–7 – сварочные шарики; 8 – микросфера из разреза Мечетлино, Предуральский прогиб (нижняя пермь, кунгурский ярус); 9, 10 – микросферы из кратера Рис, Германия; 11 – микросфера из ядра Усть-Черемшанской скважины, Республика Татарстан (глубина 1008–1013 м, средний карбон, московский ярус).
Figure 1. X-ray tomographic section of the two-dimensional image of iron oxide microspheres. 1–7 – wrought balls; 8 – microsphere from the Mechetlino open-pit mine, Pre-Ural fore deep (Lower Permian, Kungur stage); 9, 10 – microspheres from the Ris crater, Germany; 11 – microsphere from the core of the Ust-Cheremshan well, Republic of Tatarstan (depth is 1008–1013 m, Moscovian Stage).

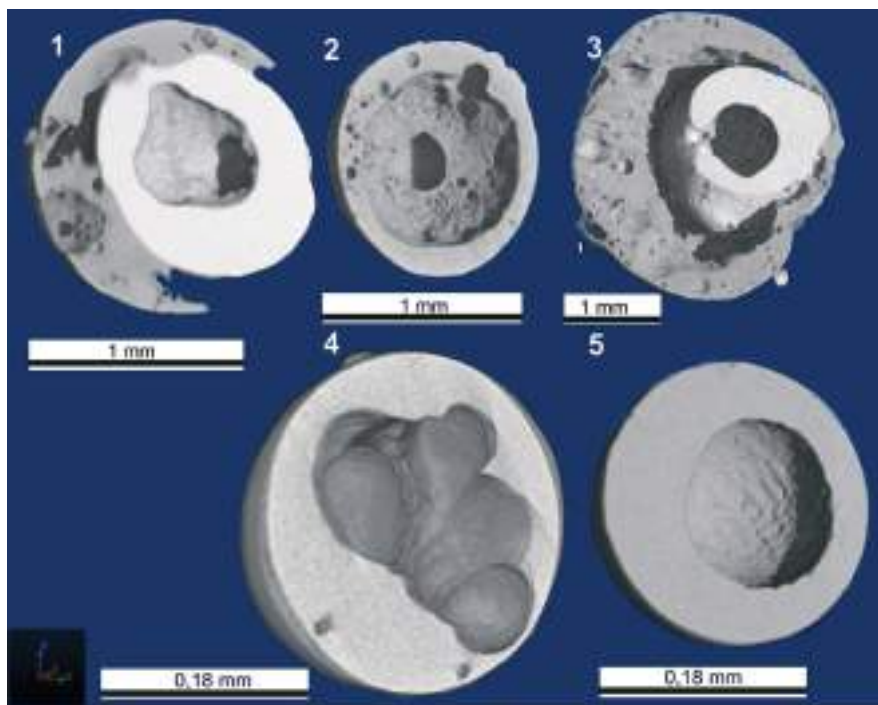


Рисунок 2. Рентгеномографический срез трехмерного изображения железоксидных микросфер. 1–3 – сварочные шарики; 4 – микросфера из ядра Усть-Черемшанской скважины (см. рис. 1, объект 11); 5 – микросфера из отложений разреза Мечетлино (см. рис. 1, объект 8).
Figure 2. X-ray tomographic section of the three-dimensional image of iron oxide microspheres. 1–3 – wrought balls; 4 – microsphere from the core of the Ust-Cheremshan well (see Fig. 1, object 11); 5 – microsphere from sediments of the Mechetlino open-pit mine (see Fig. 1, object 8).

**Химический состав внутренней части микросфер из кратера Рис.
The chemical composition of the inner part of microspheres from the Ris crater.**

Образец	Номер спектра	Элементы, вес. %					Сумма
		Fe	O	Si	Al	Ca	
Рис-1 (см. рис. 1, объект 10; рис. 3, объект 8)	1	63,08	31,85	3,51	0,35	1,21	100
	2	59,56	35,91	3,28	0,44	0,81	100
	3	67,88	30,59	1,08	0,45	–	100
Рис-2 (см. рис. 1, объект 9; рис. 3, объект 7)	1	70,29	29,28	0,43	–	–	100
	2	70,34	29,28	0,38	–	–	100
	3	70,22	29,20	0,58	–	–	100
	4	70,31	29,26	0,44	–	–	100

Примечание. Прочерк – не обнаружено.

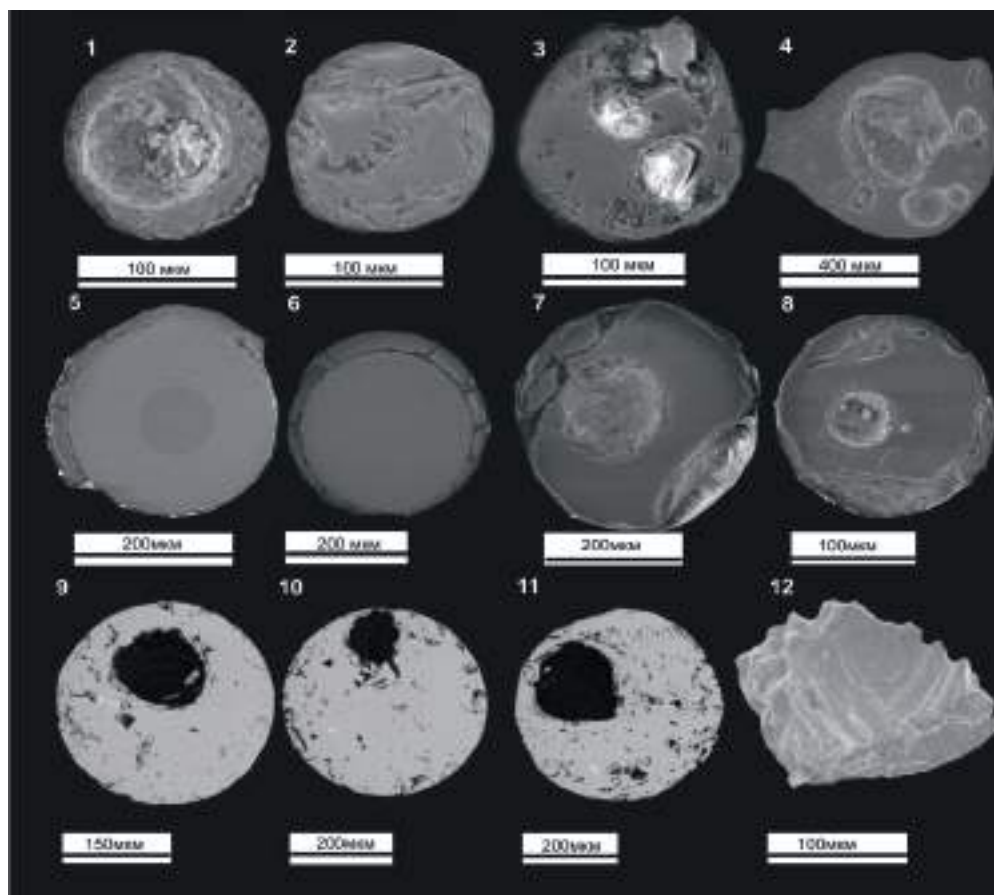


Рисунок 3. Полированные срезы железоксидных микросфер. 1–3 – из ядра Усть-Черемшанской скважины; 4–6 – сварочные шарики; 7, 8 – из кратера Рис; 9–11 – из ядра скважины месторождения Карачаганак (Прикаспийская впадина, плато Устюрт, Казахстан); 12 – обломок микросферы из отложений разреза Мечетлино, Предуральский прогиб.

Figure 3. Polished sections of iron oxide microspheres. 1–3 – from the core of the Ust-Cheremshan well; 4–6 – wrought balls; 7, 8 – from the Ris crater; 9–11 – from the core of the well of the Karachaganak field (Peri-Caspian Depression, Ustyurt Plateau, Kazakhstan); 12 – the fragment of microsphere from deposits of the Mechetlino open-pit mine, Pre-Ural fore deep.

Исследования

В ходе выполненных микротомографических исследований установлены различия в поровом пространстве микросфер. Так, микросферы техногенного генезиса, образовавшиеся в процессе сварочных работ, имеют большое количество отдельных, не связанных между собой пор (рис. 1, объекты 4–7). Иногда поры отсутствуют (цельные микросферы, рис. 1, объект 2) или имеются веретенообразные трещины (рис. 1, объект 1). Микросферы природного и космического происхождения обладают пустотным пространством в центральной части (рис. 1, объекты 8–11). Иногда форма пустот близка к сферичной (рис. 1, объекты 8, 9); встречаются пустоты более сложной формы, возникающие при слиянии нескольких пор (рис. 1, объекты 10, 11). Трехмерные (3D) изображения микросфер (рис. 2) дополнительно визуализируют информацию по поровому пространству. Электронно-микроскопическое исследование порового пространства микросфер в полированных срезах подтвердило наличие несвязанных газовых пор в техногенных микросферах (рис. 3, объект 4).

Сравнение микротомографии и результатов электронной микроскопии позволило установить наличие дифференциации вещества микросфер, что выражается в изменении плотности от центра к внешней оболочке. На томографиче-

ском снимке плотностные характеристики показаны контрастом цвета от серого к белому: от более низкой плотности вещества к более высокой плотности (рис. 1, объекты 3–5, 7, 11; рис. 2, объекты 1, 3, 4). Подобная дифференциация находит подтверждение и в электронно-микроскопических снимках, где отчетливо проявлена корочка (рис. 3, объект 6), а иногда и ядро (рис. 3, объект 5). Среди микросфер имело значение исследование капли застывшего расплава, так как изначально все микросферы, являясь незастывшим расплавом, формируются из капли. Так, дифференциация вещества внутри «сварочной» капли (рис. 1, объект 3) показывает, что хвостовая часть более светлая по сравнению с головной частью, что говорит о наличии более плотного вещества в хвосте.

Химический состав большинства объектов изучался ранее [7–9, 17–19]. Здесь впервые представлен состав внутренней части двух железооксидных микросфер из импактного кратера Рис (таблица). Главными элементами микросфер являются железо и кислород (суммарно до 99,62 %), элементами-примесями – кремний, алюминий и кальций. При этом различие в химическом составе двух микросфер обусловлено, по всей вероятности, разницей в их минеральном составе: в образце Рис-1 преобладает магнетит, а в образце Рис-2 – юстит.

Результаты томографических и микроскопических исследований показывают, что железооксидные микросферы часто имеют разнообразное внутреннее пустотное пространство. Поры, возникшие в техногенных микросферах, могут являться результатом образования газов [20]. Полости в природных земных и космических микросферах могут быть связаны с выделением газов или жидкого расплава [9, 16, 18]. Появление трещин в центре сварочных шариков, по-видимому, связано со слишком высокими температурами нагрева и быстрым остыванием [21]. Химический и минеральный состав железооксидных микросфер из импактного кратера Рис подтверждает их внеземное происхождение.

Заключение

Таким образом, совместное использование при исследовании железооксидных микросфер традиционного подхода (изготовление полированных срезов) и прецизионных методов (микротомография, электронная микроскопия и микронзондовый анализ) позволяет получить новые данные по их составу, дифференциации внутреннего строения, что приближает расшифровку генезиса необычных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булат С. А., Ежов В. Ф., Цельмович В. А. Первое обнаружение железоникелевых метеоритов в приснежном покрове Центральной Восточной Антарктиды, станция Восток // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле: Деятельность междунар. конф. (Москва, 24–26, Борок, 28 сент. 2018 г.). М., 2018. С. 45–48.
2. Вернадский В. И. О необходимости организованной научной работы по космической пыли // Проблемы Арктики. 1941. № 5. С. 55–64.
3. Дивари Н. Б. О сборе космической пыли на леднике Туюк-Су // Метеоритика. М.: Изд. АН СССР, 1948. Вып. IV. С. 120–122.
4. Грачев А. Ф. К вопросу о природе космической пыли в осадочных породах // Физика Земли. 2010. № 11. С. 3–13.
5. Карпов Г. А., Мохов А. В. Микрочастицы самородных металлов, сульфидов и оксидов в андезитовых пеплах Карымского вулкана // Вулканология и сейсмология. 2010. № 3. С. 19–35. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15109585>
6. Кориневский В. Г., Кориневский Е. В. Магнитные микросферы в карбонатах Южного Урала // Металлогения древних и современных океанов-2018. Вулканизм и рудообразование. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2012. С. 225–228.
7. Сунгатуллин Р. Х., Сунгатуллина 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, Предуралья прогиб // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 1. С. 74–85. <https://dx.doi.org/10.15372/GIG20170106>
8. Murray I. On the distribution of volcanic debris over the floor of ocean // Proc. Roy. Soc. Edinburgh. 1878. Vol. 9. P. 247–261. <https://doi.org/10.1017/S0370164600032181>
9. Sungatullin R. Kh., Glukhov M. S., Galiullin B. M., Sungatullina G. M., Bakhtin A. I., Vishnykov A. K., Vafina M.S., Gusev A. V., Kuzina D. M. First Finds of Space Microspheres in the Evaporites of the Urals Foredeep, Russia // Meteoritics & Planetary Science. 2018. Vol. 53, issue S1. P. 6291.
10. Sungatullin R., Glukhov M., Galiullin B., Statsenco E., Sungatullina G. Cosmic Microspheres from the Deposits of the Moscovian Stage of the Eastern Part of the Russian Plate // Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources: proceedings Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting (Kazan, Russian Federation, 19–23 Sept. 2017). Bologna: Filodiritto Publisher, 2018. P. 431–439.
11. Бортников Н. С., Новиков В. М., Боева Н. М., Жухлистов А. П., Гендлер Т. С., Жегалло Е. А., Соболева С. В. Первая находка биогенного наносидерита в окисленных железистых кварцитах Лебединского месторождения КМА // ДАН. 2016. Т. 466, № 5. С. 569–573. <https://doi.org/10.7868/S0869565216050182>
12. Корчагин О. А. Присутствие металлических микросфер и микрочастиц в раннем сеномане Крыма – «космическое пылевое событие» // ДАН. 2010. Т. 431, № 6. С. 783–787. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13857258>
13. Макаров А. Б., Осовецкий Б. М., Антонова И. А. Магнитные сферулы из почв вблизи шлакового отвала Нижнетагильского металлургического комбината // Изв. УГГУ. 2017. Вып. 4(48). С. 42–45. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-4-42-45>
14. Новиков В. М., Бортников Н. С., Боева Н. М., Жухлистов А. П., Зайцева Л. В., Новакова А. А., Кустов Ю. Е., Кочнев В. Э. Биогенный гематит богатых железных руд Беленихинского месторождения Белгородского района КМА // Вестник ВГУ. Сер. «Геология». 2017. № 4. С. 58–62.
15. Bourliva A., Papadopoulou L., Aidona E., Giouri K., Simeonidis K., Vourlias G. Characterization and geochemistry of technogenic magnetic particles (TMPs) in contaminated industrial soils: Assessing health risk via ingestion // Geoderma. 2017. Vol. 295. P. 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.02.001>
16. Glukhov M. S., Sungatullin R. Kh., Galiullin B. M., Sungatullina G. M., Bakhtin A. I., Gusev A. V., Kuzina D. M. Metallic microspheres of cosmic and technogenic origin // Meteoritics & Planetary Science. 2018. Vol. 53, issue S1. P. 6202.
17. Сунгатуллин Р. Х., Сунгатуллина Г. М., Глухов М. С., Осин Ю. Н., Воробьев В. В. Возможности использования космических микросфер при корреляции нефтегазоносных отложений // Нефтяное хозяйство. 2015. № 2. С. 16–19. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22996109>
18. Сунгатуллин Р. Х., Бахтин А. И., Цельмович В. А., Сунгатуллина Г. М., Глухов М. С., Осин Ю. Н., Воробьев В. В. Железо-никелевые микрочастицы в осадочных породах как индикаторы космических процессов // Учен. записки Казан. ун-та. Естественные науки. 2015. Т. 157. Кн. 3. С. 102–118.
19. Fredriksson K., Gowdy R. Meteoritic debris from the Southern California desert // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1963. Vol. 27 (3). P. 241–243. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(63\)90025-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(63)90025-5)
20. Сокол Э. В., Максимова Н. В., Нигматулина Е. Н., Френкель А. Э. Природа, химический и фазовый состав энергетических зол Челябинских углей. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. 107 с.

21. Бернштейн М. Л. Атлас дефектов стали. М., 1979. 188 с.
22. Осовецкий Б. М., Меньшикова Е. А. Природно-техногенные осадки. Пермь: ПГУ, 2006. 209 с.
23. Balabanov Yu. P., Sungatullin R. Kh., Sungatullina G. M., Kosareva L. R., Glukhov M. S., Yakunina P. G., Zhernenkov A. O., Antonenko V. V., Churbanov A. A. Magnetostratigraphy of the Reference Sections of the Cisuralian Series (Permian System) // Recent Advances in Rock Magnetism, Environmental Magnetism and Paleomagnetism: International Conference on Geomagnetism, Paleomagnetism and Rock Magnetism (Kazan, Russia). Cham, Switzerland: Springer Geophysics, 2019. P. 317–342.

Статья поступила в редакцию 20 ноября 2018 г.

The morphology and internal structure of natural and man-made iron oxide microspheres

Mikhail Sergeevich GLUKHOV*

Kazan Federal University, Kazan, Russia

Relevance of the work: The origin of iron oxide microspheres is associated with cosmic, terrestrial (abiogenic, biogenic) and technogenic processes. The study of such objects is important for the knowledge of mineral formation on Earth, the structure and composition of cosmic bodies, the role of man-made processes in the formation of new minerals. The detection of microspheres in sedimentary strata helps to complement the methods of correlation of different facies strata at the global, regional and local levels and helps in the search for stratified minerals as well.

Purpose of the work: study of features of the internal structure of natural and man-made iron oxide microspheres. Main tasks: study of pore space and possible textures, check for the presence of differentiation of a substance.

Research methodology: All studied objects were taken from powdered samples using a permanent and neodymium magnet. With the help of microtomography, iron oxide microspheres selected from the magnetic fraction from impactites of the Ris crater (from the Upper Paleozoic rocks of the East European Platform and the Pre-Ural fore deep), and man-made (welding) microspheres were studied. The same objects in polished sections were examined using scanning electron microscopy.

Results. The study of X-ray computer microtomography objects in two-dimensional and three-dimensional space showed differences in the voids of technogenic and natural microspheres. The differences are confirmed by electron microscopy. The differentiation of the substance in iron oxide microspheres is confirmed by tomographic studies and electron microscopy. Chemical composition was studied for the inner part of iron oxide microspheres from the impactites of the Ris crater. The primitiveness of the chemical composition confirms their cosmic origin.

Conclusions. The combined use of the conventional approach with precision methods approximates the decoding of the genesis of microobjects.

Keywords: iron oxide microspheres, microtomography, electron microscopy, voids, substance differentiation.

REFERENCES

1. Bulat S. A., Ezhov V. F., Tsel'movich V. A. 2018, *Pervoye obnaruzheniye zhelezonikelevykh mikrometeoritov v prisnezhnom pokrove Tsentral'noy Vostochnoy Antarktidi, stantsiya Vostok* [The first detection of iron-nickel micrometeorites in the subnival cover of Central East Antarctic Continent, Vostok station]. Physical, chemical and petrophysical studies in earth sciences: The Nineteenth International Conference (Moscow, 24–26, Borok, 28 Sep. 2018). Moscow, pp. 45–48.
2. Vernadsky V. I. 1941, About the need for an organized scientific work on cosmic dust. *Problemy Arktiki* [Arctic Research], no. 5, pp. 55–64. (In Russ.)
3. Divari N. B. 1948, About the collection of cosmic dust at the Tuyuk-Su glacier. *Meteoritika* [Meteoritics]. Moscow, Issue IV, pp. 120–122. (In Russ.)
4. Grachev A. F. 2010, About the nature of cosmic dust in sedimentary rocks. *Fizika Zemli* [Physics of the Solid Earth], no. 11, pp. 3–13. (In Russ.)
5. Karpov G. A., Mokhov A. V. 2010, Small particles of native metals, sulphides and oxides in andesitic ashes of the Karymsky volcano. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], no. 3, pp. 19–35. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15109585>
6. Korinevsky V. G., Korinevsky E. V. 2012, Magnetic microspheres in carbonatites of the Southern Urals. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov* [Metallogeny of ancient and modern oceans – 2018]. Volcanism and ore formation. Miass, pp. 225–228.
7. Sungatullin R. Kh., Sungatullina G. M., Zakirov M. I., V. Tsel'movich V. A. Glukhov M. S., Bakhtin A. I., Osin Yu. N., Vorob'ev V. V. 2017, Microspheres of cosmic origin in the Carboniferous rocks of the Usolka section, Pre-Ural fore deep. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], vol. 58, no. 1, pp. 74–85. (In Russ.) <https://dx.doi.org/10.15372/GiG20170106>
8. Murray I. 1876, On the distribution of volcanic debris over the floor of ocean. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, vol. 9, pp. 247–261. <https://doi.org/10.1017/S0370164600032181>
9. Sungatullin R. Kh., Glukhov M. S., Galiullin B. M., Sungatullina G. M., Bakhtin A. I., Vishnykov A. K., Vafina M.S., Gusev A. V., Kuzina D. M. 2018, First Finds of Space Microspheres in the Evaporites of the Urals Foredeep, Russia. *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 53, issue S1, p. 6291.
10. Sungatullin R., Glukhov M., Galiullin B., Statsenco E., Sungatullina G. 2018, Cosmic Microspheres from the Deposits of the Moscovian Stage of the Eastern Part of the Russian Plate. *Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources: proceedings Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting (Kazan, Russian Federation, 19–23 Sept. 2017)*. Bologna: Filodiritto Publisher, pp. 431–439.
11. Bortnikov N. S., Novikov V. M., Boeva N. M., Zukhlistov A. P., Gendler T. S., Zhegallo E. A., Soboleva S. V. 2016, The first finding of biogenic nanosiderite in oxidized ferruginous quartzites of the Lebedinsky deposit KMA. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 466, no. 5, pp. 569–573. (In Russ.)
12. Korchagin O. A. 2010, The availability of metallic microspheres and small particles in the early Cenomanian of Crimea – “cosmic dust event”. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 431, no. 6, pp. 783–787. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13857258>
13. Makarov A. B., Osovetsky B. M., Antonova I. A. 2017, Magnetic spherules from the soil near the ash heap of the Nizhny Tagil Iron and Steel Works. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (48), pp. 42–45. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-4-42-45>
14. Novikov V. M., Bortnikov N. S., Boeva N. M., Zhukhlistov A. P., Zaitseva L. V., Novakova A. A., Kustov Yu. E., Kochnev V. E. 2017, Biogenic hematite of rich iron ores of the Belenikhinsky deposit of the Belgorod KMA. *Vestnik VGU. Geologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Geology], no. 4, pp. 58–62. (In Russ.)
15. Bourliva A., Papadopoulou L., Aidona E., Giouri K., Simeonidis K., Vourlias G. 2017, Characterization and geochemistry of technogenic magnetic particles (TMPs) in contaminated industrial soils: Assessing health risk via ingestion. *Geoderma*. Vol. 295, pp. 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.02.001>
16. Glukhov M. S., Sungatullin R. Kh., Galiullin B. M., Sungatullina G. M., Bakhtin A. I., Gusev A. V., Kuzina D. M. 2018, Metallic microspheres of cosmic and technogenic origin. *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 53, issue S1, p. 6202.
17. Sungatullin R. Kh., G. Sungatullina G. M., Glukhov, M. S., Osin Yu. N., Vorob'ev V. V. 2015, Opportunities for the use of space microspheres while tracking oil and gas sediments. *Neftyanoye khozyaystvo* [Oil industry], no. 2, pp. 16–19. (In Russ.)
18. Sungatullin R. Kh., Bakhtin A. I., Tsel'movich V. A., Sungatullina G. M., Glukhov, M. S., Osin Yu. N., Vorob'ev V. V. 2015, Iron-nickel microparticles in sedimentary rocks as indicators of cosmic processes. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki* [Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series], vol. 157. Book 3, pp. 102–118. (In Russ.)

* gluhov.mixail2015@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5075-7066>

19. Fredriksson K., Gowdy R. 1963, Meteoritic debris from the Southern California desert. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 27(3), pp. 241–243.
20. Sokol E. V., Maksimova N. V., Nigmatulina E. N., Frenkel A. E. 2001, *Priroda, khimicheskiy i fazovyy sostav energeticheskikh zol chelyabinskiykh ugley* [Nature, chemical and phase composition of ash of Chelyabinsk coal]. Novosibirsk, 107 p.
21. Bernstein M. L. 1979, *Atlas defektov stali* [Atlas of steel defects]. Moscow, 188 p.
22. Osovetsky B. M., Menshikova E. A. 2006, *Prirodno-tekhnogennyye osadki* [Natural and man-made sediments]. Perm, 209 p.
23. Balabanov Yu. P., Sungatullin R. Kh., Sungatullina G. M., Kosareva L. R., Glukhov M. S., Yakunina P. G., Zhernenkov A. O., Antonenko V. V., Churbanov A. A. 2019, Magnetostratigraphy of the Reference Sections of the Cisuralian Series (Permian System). Recent Advances in Rock Magnetism, Environmental Magnetism and Paleomagnetism: International Conference on Geomagnetism, Paleomagnetism and Rock Magnetism (Kazan, Russia). Cham, Switzerland: Springer Geophysics, pp. 317–342.

The article was received on November 20, 2018