

**М. С. Глухов<sup>1</sup>, Б. М. Галиуллин<sup>1</sup>, И. А. Блинов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань  
*gluhov.mikhail2015@yandex.ru*

<sup>2</sup> – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

### **Генезис металлических микросфер из отложений московского яруса востока Русской плиты**

(научный руководитель д.г.-м.н. Р. Х. Сунгатуллин)

С развитием прецизионных методов у геологов повысился интерес к изучению металлических микрочастиц (до 1 мм) из осадочных пород. Подобные микрообъекты могут иметь разное происхождение: природное (вулканогенное), космическое (абляция метеороидов, импактиты), техногенное и биогенное [Карпов, Мохов, 2010; Грачев, 2010; Сокол и др., 2001; Голубева и др., 2017 и др.]. Изучение металлических микрочастиц в осадочных породах, наряду с современными биостратиграфическими, литологическими, минералого-геохимическими методами, включая и определение абсолютного возраста осадочных пород, может стать дополнительным инструментом при корреляции полифациальных разрезов и поисках стратифицируемых полезных ископаемых.

Целью работы было определение генезиса металлических микросфер из осадочных пород среднего карбона (московский ярус). Объектом изучения стал керн скважины № 33, пробуренной в Усть-Черемшанском прогибе на востоке Русской плиты (Республика Татарстан). Глубина отбора пробы с микросферами – 1008–1013 м. Исследованы шесть микросфер из московских отложений, отобранных из порошковых проб (после растворения в растворе уксусной кислоты) с помощью постоянного магнита и препарировальной иглы, и четыре техногенные микросферы из пыли (налета) бурового оборудования. В связи с тем, что в ранее изученных техногенных микросферах определены многочисленные элементы-примеси [Глухов и др., 2018], предположительно, обусловленные загрязнением, в данной работе микросферы из налета бурового оборудования обработаны щавелевой кислотой в ультразвуковой ванне.

Внешняя и внутренняя (полированная) поверхности микрочастиц исследованы на электронных микроскопах Phillips XL-30 и Vega 3 Tescan sbu, оснащенных 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. Блинов) проводилось напыление образцов углеродом.

Все микросферы из отложений московского яруса обладают сильным металлическим блеском с ярко выраженной текстурной поверхностью и характерными срастаниями кристаллов магнетита. Диаметр микросфер 130–200 мкм. Главными элементами микросфер являются Fe и O, на долю которых приходится 95.1–98.9 мас. % (табл. 1); их содержания сильно варьируют: 57.16–77.66 и 19.85–39.58 мас. %, соответственно. По методу пересчета миналов установлен минеральный состав микросфер – магнетит (преобладает) и вюстит. Примесями являются (мас. %) Si (0.60–1.67) и Al

Таблица 1

## Состав поверхности микросфер из пород московского яруса

Номер образца	Спектр	Элементы, мас. %								
		Fe	Mn	Ca	Ti	K	Si	Al	Mg	O
1	1	65.69	–	–	–	–	–	1.20	–	33.11
	2	65.20	–	–	–	–	0.60	1.25	–	32.95
2	1	58.92	–	–	–	–	0.63	0.87	–	39.58
	2	77.66	–	–	–	–	1.05	0.91	0.53	19.85
3	1	66.84	0.68	–	0.75	–	0.77	0.90	–	30.07
	2	57.81	0.61	0.20	0.70	–	0.87	0.94	–	38.87
4	1	61.61	0.45	–	–	–	1.32	1.18	0.61	34.83
5	1	59.53	–	–	–	–	–	1.06	–	39.40
6	1	57.16	–	0.46	–	0.19	1.67	1.69	0.80	38.03
	2	62.97	–	0.59	–	0.17	1.40	1.43	0.67	32.78
Среднее		63.34	0.17	0.01	0.14	0.03	0.83	1.14	0.26	33.94

Примечание. Прочерк (здесь и далее) – не обнаружено.

(0.87–1.69), в некоторых образцах присутствуют Mn (до 0.68), Ca (до 0.59), Ti (0.75), K (до 0.19) и Mg (до 0.80), вероятно, связанные с загрязнением поверхности микросфер.

Внутри микросферы могут быть как полыми (рис. а), так и цельными (рис. б). Суммарные содержания Fe и O могут достигать 100 %. Часто встречаются примеси Al, Si и Ca (рис. д). К центру содержание Fe увеличивается, что является свидетельством дифференциации вещества внутри сферы.

Три исследованные техногенные микросферы имеют малый диаметр (36–80 мкм), четвертая микросфера имеет диаметр 570 мкм (рис. г, ж). Поверхность техногенных микросфер гладкая, матовая. На поверхности всех микросфер, кроме Fe (50.36–68.30 мас. %) и O (28.30–41.79 мас. %), фиксируется значительная примесь Al (2.89–5.92 мас. %) (табл. 2), который был обнаружен и в составе буровой коронки [Глухов и др., 2018]. Пересчет на миалы показал преимущественно гематитовый состав техногенных микросфер.

Таблица 2

## Состав поверхности металлических шариков бурового оборудования

Образец	Спектр	Элементы, мас. %						
		Fe	Mn	S	Cr	Si	Al	O
7	1	60.53	–	–	–	–	2.89	36,58
	2	68.30	–	–	–	–	3.57	28,13
8	1	50.36	0.79	0.47	–	0.67	5.92	41,79
	2	52.64	0.76	0.68	–	0.96	5.88	39,08
9	1	55.62	0.57	–	0.70	0.51	4.29	38,31
Среднее		57.49	0.42	0.23	0.14	0.42	4.51	36.77

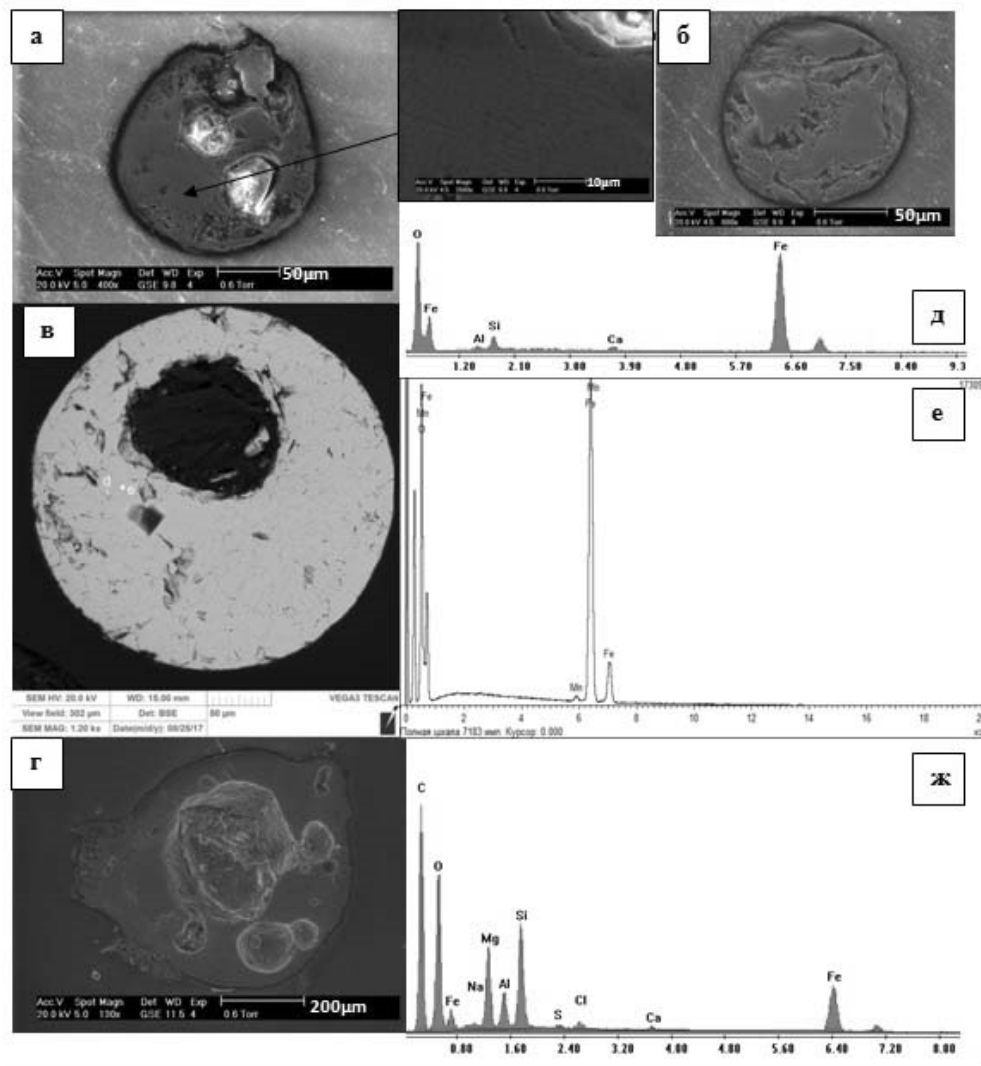


Рис. Полированные срезы металлических микросфер: а, б) из отложений московского яруса востока Русской плиты (а – полые, б – цельные); в) из осадочных пород Прикаспийской впадины кайнозойского возраста [Сунгатуллин и др., 2015а]; г) из пыли (налета) бурового оборудования; д, е, ж) их энергодисперсионные спектры, соответственно.

Внутренние и внешние характеристики микросфер из отложений московского яруса сравнивались с микрообъектами, предположительно, космического происхождения из осадочных пород Прикаспийской впадины [Сунгатуллин и др., 2015а]. Обнаружены аналогичные внешние морфологические и внутренние текстурные (рис. в) признаки и некоторые сходства в химическом составе как внешней, так и внутренней (рис. е) части микросфер.

Таким образом, исходя из вышеизложенных результатов по изучению металлических микросфер из отложений московского яруса и техногенных микросфер, а также ранее выполненных исследований микросфер в Предуральском прогибе и Прикаспийской впадине [Сунгатуллин и др., 2015а; 2015б; 2017] установлено, что микросферы из осадочных пород обладают сильным металлическим блеском и разнообразным текстурным рисунком поверхности и внутренней части, образованным срастаниями кристаллов магнетита. В отличие от природных, техногенные микросферы имеют гладкую матовую поверхность, и в некоторых случаях характеризуются триадой главных элементов (Fe, O, C), значительными содержаниями Ti [Глухов и др., 2018] и Al, а также присутствием других элементов-примесей (см. табл. 2). Сопоставление исследованных микросфер позволяет предположить, что микрообъекты из изученных каменноугольных отложений востока Русской плиты имеют космическое происхождение. Возможно, это связано с метеоритной бомбардировкой Земли в московский период и интенсивным выпадением космической пыли, а также возможными импактными событиями [Sungatullin et al., 2017].

### Литература

- Глухов М. С., Сунгатуллин Р. Х., Галлиулин Б. М. Сравнение металлических микросфер космической и техногенной пыли // *Мат. IX всерос. мол. научн. конф. «Минералы: строение, свойства, методы исследования»*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2018. С. 48–49.
- Голубева Е. М., Кондратьева Л. М., Комарова В. С., Абражевич А. В. Биогеохимические факторы формирования железосодержащих минералов // *Литосфера*. 2017. Т. 17. № 2. С. 115–124.
- Грачев А. Ф. К вопросу о природе космической пыли в осадочных породах // *Физика Земли*. 2010. № 11. С. 3–13.
- 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.
- Сокол Э. В., Максимова Н. В., Нигматулина Е. Н., Френкель А. Э. Природа, химический и фазовый состав энергетических зол челябинских углей. Новосибирск: СО РАН, филиал «Гео», 2001. 107 с.
- 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*. 2015а. № 2. С. 16–19.
- 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 // *Ученые записки Казанского университета. Естественные науки*. 2015б. Т. 157. Кн. 3. С. 102–118.
- 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, Предуральский прогиб // *Геология и геофизика*. 2017. Т. 58. № 1. С. 74–85.
- Sungatullin R. Kh., Tselmovich V. A., Sungatullina G. M., Glukhov M. S., Bakhtin A. I., Gusev A. V., Kuzina D. M., Galiullin B. M. Impact origin of Rabiga Kul Lake, East of the European part of Russia // *Meteoritics and Planetary Science*. 2017. Vol. 52. Special Issue. P. 6124.