

Лукин А. Е. Минеральные сферулы – индикаторы специфического флюидального режима рудообразования и нефтидогенеза // Геофизический журнал. 2013. Т. 35. № 6. С. 10–53.

Макаров А. Б., Осовецкий Б. М., Антонова И. А. Магнитные сферулы из почв вблизи шлакового отвала Нижнетагильского металлургического комбината // Известия УГГУ. 2017. Вып. 4 (48). С. 42–45.

Осовецкий Б. М., Меньшикова Е. А. Природно-техногенные осадки. Пермь: ПГУ, 2006. 209 с.

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.

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 // Proceedings Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting «Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources». Bologna: Filodiritto Publisher, 2018. P. 431–439.

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 // Abstracts of the 81st Annual Meeting of the Meteoritical Society (2018). Moscow, 2018. P. 6202.

Murray I. On the distribution of volcanic debris over the floor of ocean // Proceedings of the Royal Society. Edinburg, 1876. Vol. 9. P. 247–261.

Nordenskjold A. E. On the cosmic dust which falls on the surface of the Earth with the atmospheric precipitation // Philosophical magazine. 1874. Vol. 48. P. 546.

А. А. Белов, М. С. Глухов

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань
tovitaan@ya.ru*

Магнитные микрочастицы из пород импактного происхождения кратеров Рис, Попигаи и фрагментов метеорита Муониолуста (научный руководитель д.г.-м.н. Р. Х. Сунгатуллин)

Космические объекты оказывают большое влияние на историю Земли. Падение внеземных тел приводит к катастрофическим последствиям, а следы ударных событий находят и в настоящее время. Внеземное вещество поступает на нашу планету непрерывно в виде мелких частиц различной конфигурации [Yada et al., 2004]. Первые исследования космической пыли проведены в конце XIX в., когда в глубоководных океанических глинах были обнаружены различные металлические микрочастицы. Интерес к ним усилился с середины прошлого века [Вернадский, 1941; Грачев Корчагин, 2008], т. к. данные микрообъекты могут дать дополнительную информацию о космических процессах минералообразования, строения и составе космических тел, космических событиях в геологической истории Земли [Цельмович, 2011; Сунгатуллин и др., 2015].

Настоящая работа посвящена исследованию магнитных микрочастиц из кратеров Попигаи (Россия, Красноярский край), Рис (Германия, Нёрдлинген) и из окалина железного метеорита Муониолуста, извлеченной из грунта с места его падения (Швеция). Отметим, что имеются работы, посвященные изучению импактных алмазов

из кратеров Попигай и Рис [Мальков, 2006 и др.], но отсутствуют исследования магнитных микрочастиц из импактитов [Вальтер и др., 1986] и, в частности, микросферул.

Цель настоящей работы – исследование магнитных микрочастиц из зювитов и грунта, в котором были обнаружены фрагменты метеорита Муонилушта. Задача исследования – изучение морфологии и химического состава магнитных микрочастиц. Материал был предоставлен сотрудником музея естественной истории Татарстана О. П. Шиловским (фрагменты метеорита Муониолуста и грунт с окалиной метеорита) и научным сотрудником ГЕОХИ РАН А. В. Корочанцевым (зювиты из кратеров Попигай и Рис). Поиск фрагментов метеорита Муониолуста проводился при помощи металлоискателя в моренных песчано-глинистых отложениях, содержащих валуны. Фрагменты метеорита и грунт извлекались из глубины около 1 м.

Для обнаружения в породах объектов с повышенной плотностью (железооксидных микрочастиц) образцы зювитов перед дроблением исследовались на рентгеновском микротомографе Phoenix V|tome|X S 240 с нанофокусной рентгеновской трубкой с максимальным ускоряющим напряжением 180kV и мощностью 15W (КФУ, оператор Е. О. Стаценко). В импактитах из кратеров Попигай и Рис обнаружены рентгеноплотные микрочастицы (светлый оттенок на рис. 1), что является прямым свидетельством «природности» магнитных микрочастиц и позволяет не рассматривать их техногенное происхождение. Далее проба истиралась в порошок, и неодимовым магнитом извлекались магнитные микрочастицы (рис. 2). Их общее количество составило: пять микрочастиц из зювитов Попигай (извлечены из пробы размером 17×13×13 мм), восемь – из зювитов Рис (12×9×7 мм) и шесть – из окалины метеорита (вес пробы 5 г) Муониолуста. Строение и состав поверхности исследованы на электронном микроскопе Phillips XL-30, оснащенный энергодисперсионным спектрометром (КФУ, оператор Б. М. Галиуллин). Съемка производилась по природной поверхности без предварительной полировки.

В магнитной фракции обнаружены частицы, имеющие различную форму: пластины, спирали (с поперечными бороздами), микросферы с сетчато-бугристой (см. рис. 2, обр. В) и гладкой поверхностью. Микрочастицы из импактитов кратера Попигай имеют размер 40–80 мкм, микрочастицы кратера Рис более крупные – 100–250 мкм. Результаты анализов показали (табл. 1), что главными элементами магнитных

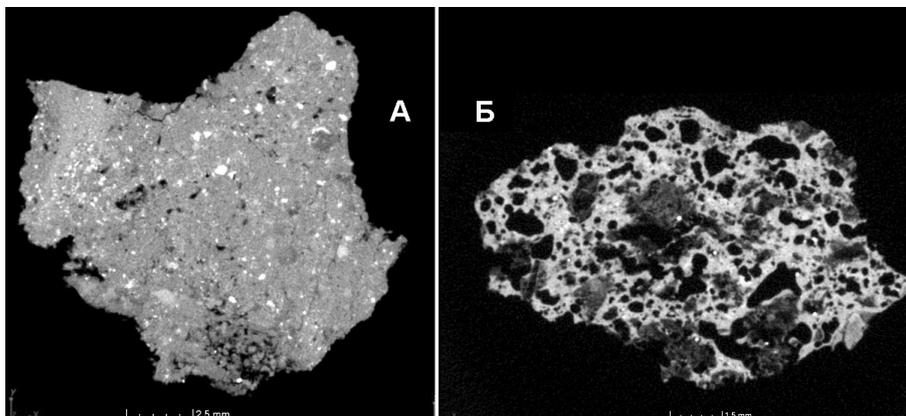


Рис. 1. Томографические снимки импактитов из кратеров: а) Попигай; б) Рис.

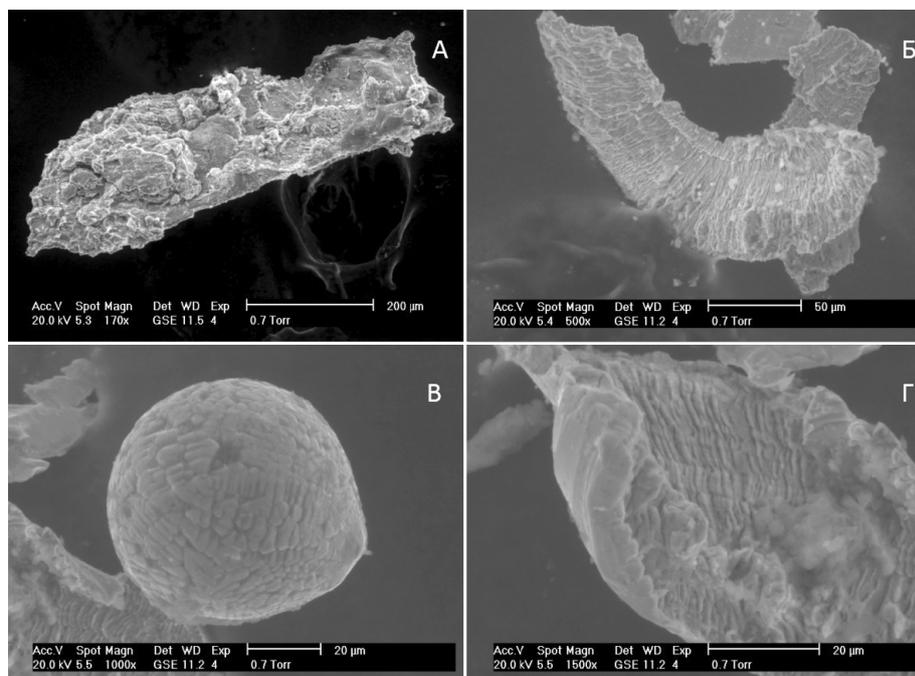


Рис. 2. Магнитные микрочастицы из импактитов: а) микрочастица из окарины метеорита Муонионалуста; б) серповидная стружка из импактита кратера Рис; в) микросфера чешуйчатой формы из импактита кратера Попигай; г) микрочастица из импактита кратера Попигай.

Таблица 1

Химический состав микрочастиц из импактитов кратеров Рис и Попигай

№ объекта	Элементы, мас. %								Сумма
	Fe	O	Mg	Al	Si	Ca	Cr	S	
1	61.20	28.06	1.36	2.27	3.30	–	3.81	–	100
2	83.01	–	–	0.89	1.48	–	14.10	0.51	100
3	65.37	19.39	–	0.90	1.11	–	12.88	0.35	100
4	64.54	16.16	–	1.09	–	0.77	16.90	0.55	100
5	97.39	–	–	0.85	0.75	–	1.01	–	100
6	67.17	14.43	–	1.25	1.02	0.80	15.34	–	100
7	70.40	12.73	–	0.99	1.03	–	14.45	0.41	100
8	80.03	–	–	1.25	1.16	–	17.10	0.46	100
1 (P)	60.45	35.90	–	1.27	1.49	–	–	0.89	100
2 (P)	61.10	36.35	–	1.73	0.82	–	–	–	100
3 (P)	67.06	19.20	–	1.45	1.54	–	10.74	–	100

Примечание. 1–8 – микрочастицы из кратера Рис; P – микрочастицы из кратера Попигай; здесь и в табл. 2 прочерк – содержание элемента ниже предела обнаружения.

Таблица 2

Химический состав микрочастиц из окалин метеорита Муонионалуста

№ объекта	Элементы, мас. %								Сумма
	Fe	O	Mg	Al	Si	S	Cl	Ni	
1	57.62	26.03	0.33	0.90	0.82	–	7.88	6.43	100
2	63.90	28.69	–	0.75	0.45	0.27	0.75	5.19	100
3	60.52	35.46	–	0.87	0.87	–	–	2.29	100
4	48.45	1.10	–	2.83	0.66	2.26	4.72	39.98	100

микрочастиц в кратерах Рис и Попигай являются Fe и O. Для микрочастиц кратера Рис отмечено высокое содержание Cr, что, возможно, связано с наличием в их составе хромита (табл. 1, обр. 2, 5, 8), а небольшие примеси серы (табл. 1, обр. 2, 3, 4, 7, 8) могут указывать на содержание сульфошпинели [Печерский и др., 2012]. Магнитные микропластинцы из окалин метеорита Муонионалуста размером 400–1000 мкм обладают пластинчатой формой с неровной и ребристой поверхностью (см. рис. 2, обр. А). Образцы содержат Ni (табл. 2), что характерно для частиц внеземного происхождения [Цельмович, 2018]. Набор элементов-примесей во всех изученных образцах не противоречит химическому составу метеоритного вещества [Ферсман, 1934].

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: 1) впервые применена рентгеновская микротомография для исследования строения импактитов; 2) находки плотных магнитных микрочастиц внутри пород свидетельствуют об их природном (импактном) происхождении; 3) химический состав магнитных микропластинок не противоречит их импактному происхождению и может использоваться как индикатор ударных событий на Земле; 4) совместное применение прецизионных методов позволяет более точно диагностировать необычные микрообъекты.

Литература

- Вальтер А. А., Бурмистрова В. В., Шаркин О. П. Ударно-метаморфизованный кварц с Fe-Cr-Ni металлическим включением из цоколя Терновской астроблемы // Метеоритика. 1986. № 45. С. 131–136.
- Вернадский В. И. О необходимости организованной научной работы по космической пыли // Проблемы Арктики. 1941. № 5. С. 55–64.
- Грачев А. Ф., Корчагин О. А. Космическая пыль и микрометеориты в переходном слое глин на границе мела и палеогена в разрезе Гамс (Восточные Альпы): морфология и химический состав // Физика Земли. 2008. № 7. С. 42–57.
- Мальков Б. А. Рудный потенциал крупных (Карская, Попигайская, Кожимская) и гигантских (Вредефорт, Садбери, Бангуи) астроблем // В сб.: Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 25–26.
- Печерский Д. М., Марков Г. П., Цельмович В. А., Шаронова З. В. Внеземные магнитные минералы // Физика Земли. 2012. № 7–8. С. 103–120.
- 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.
- Ферсман А. Е. Геохимия // ОНТИ. Госхимиздат. Ленинградское отделение. 2 изд. Т. 1. 1934. С. 165–187.
- Цельмович В. А. Микропластинцы металлов в тектитах нижегородского падения и канскитах как индикаторы космического вещества // Мат. двенад. междунар. конф. «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле». М.: Борок, 2011. С. 293–296.

Цельмович В. А. Чистый никель как индикатор космогенного вещества // Мат. девятнадцатого междунар. конф. «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле». М., 2018. С. 330.

Yada T., Nakamura T., Takaoka N. The global accretion rate of extraterrestrial materials in the last glacial period estimated from the abundance of micrometeorites in Antarctic glacier ice // Earth Planets Space. 2004. Vol. 56. P. 67–79.

А. А. Усачева

*Институт геологии рудных месторождений,
минералогии, петрографии и геохимии РАН, г. Москва
usacheva@list.ru*

^{137}Cs в ландшафтах тундры и тайги Западной Сибири (научный руководитель к.г.-м.н. А. Ю. Мирошников)

Испытания ядерного оружия в атмосфере обусловили глобальное загрязнение Земли продуктами радиоактивного распада, в том числе ^{137}Cs , который в фоновых ландшафтах является одним из главных дозообразующих техногенных радионуклидов. К началу 1980-х гг. суммарная активность ^{137}Cs , поступившего в окружающую среду в результате ядерных взрывов, составила 960 ПБк [Ионизирующее..., 1982]. Актуальность изучения поведения ^{137}Cs в ландшафтах, не подвергшихся загрязнению вследствие аварий, определяется постоянно возрастающей ролью атомной энергетики и расширением географии расположения ядерно-радиационно-опасных объектов.

Целью исследований является анализ распределения ^{137}Cs в почвах и растительности фоновых тундровых и таежных ландшафтов Западной Сибири. Объектами исследования стали почвы и растительность четырех участков в Западной Сибири, в которые ^{137}Cs поступал исключительно с глобальными выпадениями. Ландшафты трещинно-полигональной типичной тундры изучены в западной части Гыданского полуострова, на слабо расчлененном междуречье рек Яраяха и Седеяха (участок Тазовский). Болотно-лесные ландшафты исследованы в северной тайге (средняя часть бассейна р. Пур, 2 км к северу от г. Губкинский – участок Пурпе), на границе северной и средней тайги (Сибирские увалы, 4 км к северо-востоку от г. Ноябрьск) и в средней (север Тобольского материка, 3 км к югу от пос. Салым) тайге. На 50 точках заложен 51 разрез, отобрано 373 почвенных и 27 растительных образцов. Удельная активность ^{137}Cs измерена методом прямого γ -спектрометрического анализа (предел обнаружения 1 Бк/кг) с использованием полупроводникового Ge(Li)-детектора GEM-4519 (GLP-25300/13), оснащенного NaI(Tl)-детекторами 160×160 мм с колодцами 55×110 мм (ИГЕМ РАН, аналитик Р. В. Соломенников).

Поскольку ^{137}Cs поступает в изученные ландшафты преимущественно с атмосферными осадками и прочно фиксируется в верхней части органо-профиля, в почвах традиционно отмечается его поверхностно-аккумулятивное распределение. На почвенный покров приходится более 70 % от суммарного загрязнения ^{137}Cs в ландшафте. В постлитогенных почвах типично тундровых ландшафтов ^{137}Cs аккумулируется исключительно в органогенной толще почв, что, вероятно, связано с очень низким потенциалом радиальной миграции из-за короткого лета в тундре. В северной тайге