

МАГНИТНЫЕ СФЕРУЛЫ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ОСАДКОВ

Меньшикова Е.А., Осовецкий Б.М.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), e-mail: menshikova_e@list.ru

Современные аллювиальные отложения на территориях с техногенным воздействием представляют собой сложное природно-техногенное образование, в составе которого наряду с зёрнами естественных минералов значительную долю составляют техногенные компоненты. Авторами исследованы морфология и химический состав магнитных сферул из современного аллювия на территории городов Екатеринбург, Нижнего Тагила, Миасса, Перми и ряда промышленных городов Пермского края. Результаты исследований с применением электронной микроскопии и микрозондового анализа позволили выделить три основные группы магнитных сферул, имеющие различный химический и минеральный состав – железистые (магнетитовые), силикатно-железистые (магнетитовые с кварцем, полевыми шпатами и др.) и силикатные. Обнаружено, что для каждой градопромышленной агломерации характерен особый химический состав сферул. Исследование магнитных сферул в природно-техногенных осадках может быть использовано при проведении литомониторинговых исследований с целью анализа путей миграции и зон концентрации техногенного вещества, степени его преобразования в различных природных обстановках.

Ключевые слова: магнитные сферулы, аллювиальные осадки, микрозондовый анализ, Урал.

MAGNETIC SPHAERULES IN NATURAL-TECHNOGENIC SEDIMENTS

Menshikova E.A., Osovetsky B.M.

The Perm State National Research University, Perm, Russia, (614990, Perm, st. Bukireva, 15), e-mail: menshikova_e@list.ru

Alluvial sediments on the territories subjected to technogenic influence are the complex natural-technogenic formation. At their composition the prominent role play technogenic components besides natural mineral grains. Morphology and chemical composition of magnetic sphaerules from modern river sediments at the territories of the industrial centers in the Urals are investigated. The results of studies with application of SEM and microprobe analysis gave the opportunity to subdivide magnetic sphaerules into several groups (magnetite, oxidized magnetite and silicate) of specific chemical and mineralogical composition. It is proved every city-industrial agglomeration has definite chemical composition of sphaerules. Investigation of magnetic sphaerules in natural-technogenic sediments may be used during lithomonitoring control with the purpose of migration ways and zones of technogenic matter concentration as well as degree of its re-origin in different environment situations.

Keywords: magnetic sphaerules, river sediments, microprobe analysis, the Urals.

Территории промышленных центров являются зонами активного влияния человека на природные процессы осадконакопления. Особенно заметному воздействию здесь подвержены современные аллювиальные отложения, которые преобразуются в сложные природно-техногенные образования, объединяющие в своем составе зёрна естественных минералов и техногенные компоненты [5]. Среди частиц техногенного происхождения магнитные сферулы в природно-техногенных осадках представляют собой одну из наиболее распространенных групп компонентов техногенного происхождения. Они встречаются практически на всех территориях, находящихся под техногенным прессингом. Магнитные сферулы легко выделяются в лабораторных условиях в процессе магнитной сепарации и в этом отношении очень удобны для использования в ходе литомониторинговых

исследований. В частности, они применяются для изучения процессов массопереноса в почвенном покрове и эрозионно-русловых системах [1].

Магнитные сферулы поступают на земную поверхность и с космическим веществом. В качестве характерных признаков космического происхождения указываются повышенное содержания никеля и небольшое – титана, зональное строение с присутствием железоникелевого ядра и др. [7]. Образования, морфологически схожие с исследованными сферулами, имеют также эндогенное происхождение и встречены в геологических обстановках, связанных с интрузивными и эффузивными процессами. В частности, изучение магнитных сферул андезито-базальтовых пород Курило-Камчатской островной дуги показало доминирование в их составе оксидов железа (более 97 мас. %) при незначительном количестве титана и марганца. Здесь же присутствуют сферулы, сложенные преимущественно стеклом. Их химический состав более разнообразен – преобладают оксиды железа, титана, марганца и кремнезем; в значительно меньших количествах содержатся глинозем и оксиды магния, кальция и натрия [6].

Целью проведенных исследований явилось выяснение специфики морфологии и химического состава техногенных магнитных сферул. В качестве объектов исследования выбраны сферулы, выделенные из природно-техногенных аллювиальных осадков различных рек Уральского региона. Методика исследований включала на первом этапе опробование природно-техногенных аллювиальных осадков вблизи мест поступления техногенных продуктов. Далее в лабораторных условиях пробы разделялись на классы крупности, выделялась тяжелая фракция в бромформе. Производилась магнитная сепарация с применением постоянного магнита. Из магнитной фракции отбирались зерна сферул на фотографирование и микрозондовый анализ. Микрофотографирование и микрозондовый анализ выполнены на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390LV фирмы «Jeol» с ED- и WD-спектрометрами на кафедре минералогии и петрографии Пермского государственного университета одним из авторов статьи. Всего детально исследованы 42 сферулы.

Результаты исследований. Источниками происхождения магнитных сферул в природно-техногенных осадках являются в основном предприятия металлургического и коксохимического профиля, а также некоторые муниципальные объекты. Они связаны с процессами металлообработки и аккумулируются в отходах металлургической промышленности, являются обычными компонентами в составе золы тепловых станций, использующих твердые виды топлива, образуются при сварочных работах и других техногенных процессах с использованием высоких температур.

По результатам исследования техногенно-аллювиальных осадков магнитные сферулы наиболее характерны для рек Косьвы (г. Губаха, Пермский край), Тагила (г. Нижний Тагил),

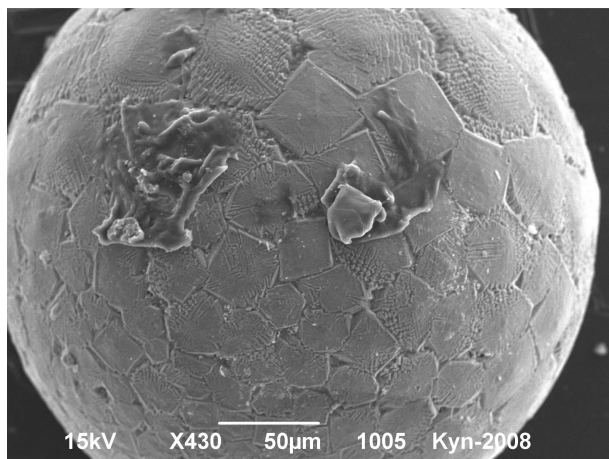
Данилихи (г. Пермь), Исети (г. Екатеринбург), Кизела (г. Кизел), Чусовой (г. Чусовой), Миасса (г. Челябинск). Содержание этих образований в песчаных осадках прирусловой отмели исследованных рек составляет (в мас. %): р. Косьва – до 3,0; р. Исеть – до 1,0; р. Данилиха – до 0,5; р. Тагил – до 0,49; р. Чусовая и р. Кизел – до 0,4; р. Миасс – до 0,14; р. Урал – до 0,04. Как правило, максимальное содержание сферул наблюдается в пределах городов непосредственно ниже по течению от источника поступления и снижается с удалением от него [2]. Присутствие магнитных сферул в речных осадках отмечено и выше по течению источников поступления, что связано с процессами их воздушной миграции. Исключительная ситуация наблюдалась в долине р. Косьвы, где максимальная концентрация сферул в осадках установлена на расстоянии 22 км ниже г. Губаха, где расположено коксохимическое производство, рассматриваемое в качестве основного источника их поступления в окружающую среду [3].

В морфологическом отношении сферулы разделены на три группы. Одни из них представляют собой практически идеальные шарики размером от нескольких миллиметров до нескольких десятков микрон. Поверхность их при изучении под биноклем гладкая и блестящая. Однако электронномикроскопические изображения отражают более сложное строение (рисунок 1). Другую группу представляют шарообразные выделения с матовой шероховатой поверхностью, которые соответствуют разным стадиям изменения первичных магнитных сферул. Третью группу составляют овальные, вытянутые образования, сростания нескольких индивидов и шлаки, в составе которых находятся магнитные сферулы.

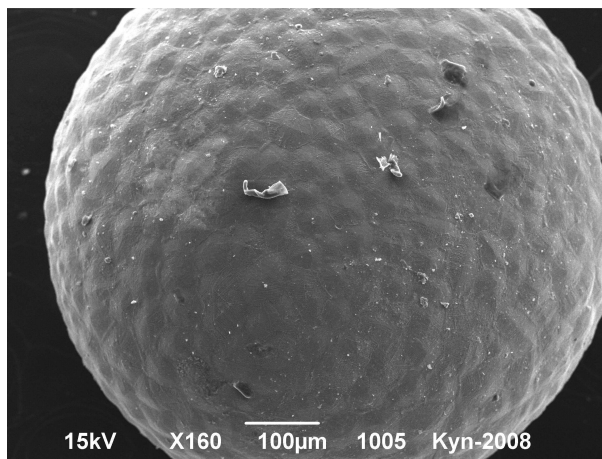
Детальное изучение поверхности сферул под электронным микроскопом позволяет проследить прогрессирующее их изменение под влиянием агентов внешней среды. Одним из основных процессов является частичное растворение, а также окисление. Признаками растворения сферул являются каверны, углубления, микротрещины, поры и т.д.

Результаты микронзондового анализа показали существенные различия химического состава изученных сферул. Среди них по химическому и минеральному составу можно выделить следующие группы: железистые (магнетитовые); силикатно-железистые (измененные магнетитовые) и силикатные (таблица 1).

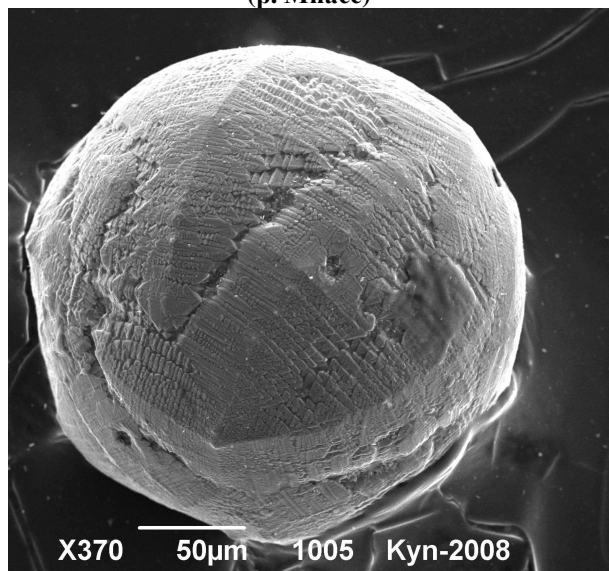
Железистые сферулы отличаются наиболее правильной шарообразной формой, сильным полуметаллическим блеском, черным цветом, гладкой поверхностью и небольшими размерами (обычно менее 100 мкм). Они обладают наиболее сильными ферромагнитными свойствами. В их химическом составе доля оксидов железа превышает 80 %.



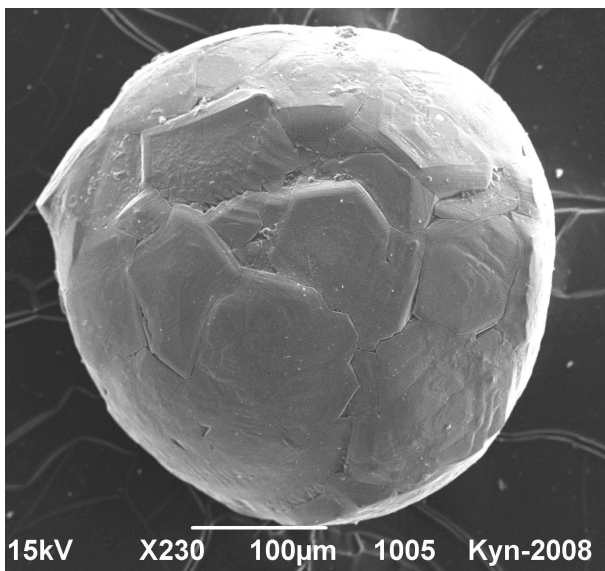
**Полигональное строение поверхности
(р. Миасс)**



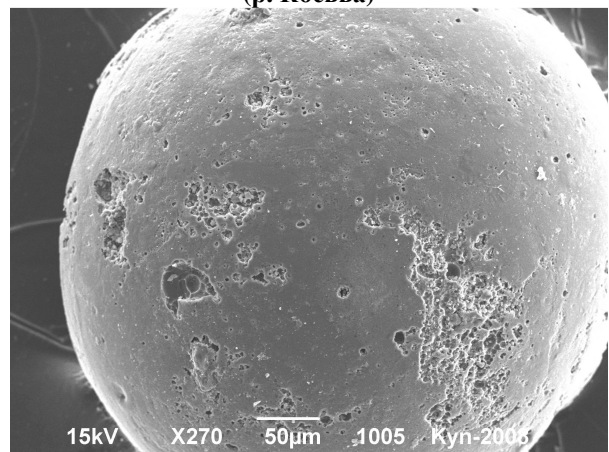
Холмистая поверхность (р. Исеть)



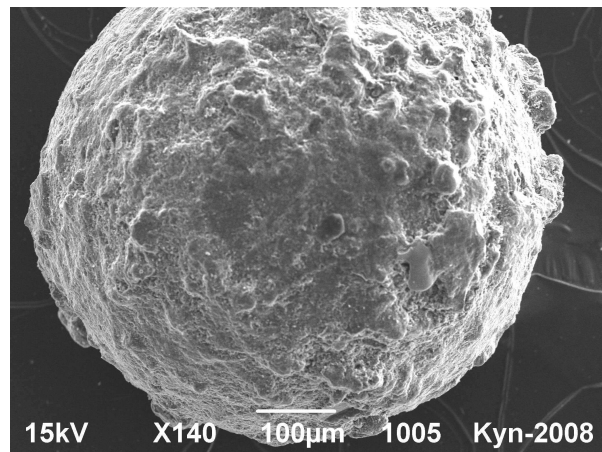
**Черепитчатая микроскульптура поверхности с
отчетливым обособлением октантов
(р. Косьва)**



**Сложное строение поверхности
(р. Тагил)**



**Начальная стадия изменения сферулы с
отдельными корродированными участками
поверхности (р. Кизел)**



Стадия сильного изменения сферулы (р. Кизел)

Рисунок 1. Морфология типичных магнетитовых сферул

Таблица 1

Химический состав магнитных сферул (мас. %)

№ п/п	Объект исследования	SO ₃	P ₂ O ₅	V ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO*	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма
Железистые сферулы															
1	Река Исеть – г. Екатеринбург	-	-	0	1,62	0	0,44	0	97,27	0,12	-	-	-	-	99,45
2		-	1,19	0	8,81	0,08	1,38	0	86,09	0,88	0,82	0,55	-	0,49	99,10
3		-	-	0	9,91	0,18	4,74	0	81,97	0,62	0,69	1,27	-	0,38	99,76
4	Река Тагил – г. Нижний Тагил	-	-	0	2,38	0	0,81	0,08	88,85	0,82	0,27	0,24	-	0,25	93,70
5		-	-	0,1	3,55	0,06	1,18	0,08	90,62	1,1	0,39	0,59	-	-	97,67
6		-	-	0,11	7,03	0	2,51	0	84,34	0,95	1,29	2,71	-	-	98,94
7	Река Косьва (Пермский край)	-	-	0	0,89	0	-	0,06	94,22	0,37	-	-	-	-	95,54
8		-	-	0	1,08	0,31	0,65	0	94,84	0,31	-	-	-	-	97,19
9		-	-	0	1,1	0,13	0,91	0,13	96,64	0,35	1,08	-	-	-	100,34
10		-	-	0	1,15	0	0,47	0,07	97,33	0,5	-	-	-	-	99,52
11		-	-	0	0,6	0	-	0	95,9	0,4	-	-	-	-	96,90
12		-	-	0	2,45	0	-	0	95,49	0,3	-	0,45	0,43	0,48	99,60
Силикатно-железистые сферулы															
13	Река Тагил – г. Нижний Тагил	-	0,5	0,23	4,64	0	1,55	-	74,84	0,66	1,26	0,74	-	-	84,42
14		-	2,24	0,2	11,87	0	2,12	0	63,34	0,55	2,9	0,6	-	-	83,82
15	Река Косьва (Пермский край)	1,38	0,75	0,05	5,19	0	3,76	0	74,59	0	0,33	-	0,42	0,82	85,91
16		-	-	0,07	5,74	5,04	1,1	0	77,95	3,71	2,23	1,89	1,31	1,3	100,34
17	Река Кизел (Пермский край)	0,58	-	0	6,35	3,01	9,9	0,08	70,09	0,08	1,19	0,71	0,31	0,31	92,03
18		-	-	0,17	5,77	2,51	13,34	0	75,16	0	0,94	1,34	-	-	99,23
19		0,88	-	0	11,44	0,73	12,71	0	62,16	0,07	0,27	0,32	-	0,76	88,46
20		1,15	0,54	0	10,71	0,82	9,32	0	58,72	0	0,68	0,73	-	1,24	82,76
21		-	-	0,07	9,93	2,76	15,57	0	55,17	0	1,66	0,76	-	0,32	86,24
Силикатные сферулы															
22	Река Чусовая (Пермский край)	-	-	0,16	45,36	0,76	10,69	0,35	14,07	3,49	19,06	1,07	0,58	0,53	96,12
23		0,6	0,87	0,84	22,14	0,55	8,09	0,27	15,72	1,07	35,18	12,28	-	0,7	96,84
24	Река Миасс – г. Миасс	-	0,57	0	51,85	1,35	23,06	0	13,12	0,14	3,19	3,9	1,27	3,42	101,30
25		-	-	0	50,62	0,62	29,24	0	8,74	0,06	3,08	1,25	0,46	3,2	97,27
26		-	-	-	50,67	0,5	19,81	-	19,85	0,09	4,76	1,63	0,62	3,27	101,20
27		-	0,46	-	46,1	1,3	20,13	-	15,47	0,21	7,46	3,21	0,59	1,6	96,07
28	Река Данилиха – г. Пермь	-	-	-	43,39	1,65	28,38	-	11,39	-	0,94	1,6	-	0,98	88,33
29		2,52	-	-	40,82	0,53	7,97	-	34,95	-	6,33	2,17	-	0,89	93,66

Примечание: * FeO+Fe₂O₃; – элемент не определялся.

Характерными компонентами, отражающими степень изменения первичного состава сферул, являются SiO_2 , Al_2O_3 , CaO и K_2O . Сферулы, в большей степени затронутые процессами изменения (присутствие каверн, углублений и трещин, заполненных вторичными новообразованиями), отличаются пониженными содержаниями оксидов железа и наиболее высокими – кремнезема и глинозема.

Силикатно-железистые сферулы отличаются серой или буровой окраской, имеют матовый блеск, шероховатую поверхность и более крупные размеры. Они характеризуются пониженной магнитной восприимчивостью по сравнению с предыдущей группой. В их химическом составе содержание оксидов железа снижается до 78-55 % (таблица 1). Соответственно, увеличивается содержание оксидов Si, Al, Ti, Ca, Mg, иногда Na, K, Mn. Типичными индикаторами воздействия химических агентов окружающей природной среды на сферулы являются повышенные содержания в их составе соединений фосфора и серы.

Заметное снижение суммы компонентов (иногда до 83 %) свидетельствует о появлении в составе сферул молекул воды и (или) гидроксила, что, очевидно, является следствием их гидратации. Процесс изменения сначала затрагивает только поверхностную оболочку и постепенно продвигается вглубь частицы. Вероятно, степень изменения состава зависит от времени появления частицы в составе природно-техногенных осадков. В основном, данный процесс сводится к окислению магнетита с переходом в гетит и гидрогетит, а также другие железистые новообразования. Кроме того, в данную группу попадают и неизменные сферулы полиминерального состава с преобладанием магнетита (таблица 1, анализы 15, 16).

Силикатные сферулы отличаются стекляннм блеском, слабой магнитной восприимчивостью, полупрозрачностью, разнообразием морфологии и более гладкой поверхностью. В них содержание оксидов железа не превышает 35 %, а иногда уменьшается до 10 % и менее. Такие сферулы довольно разнородны по химическому составу. Одну подгруппу составляют индивиды с содержанием кремнезема порядка 50 % и повышенной долей глинозема (20-30 %). Другая подгруппа отличается повышенным содержанием оксидов кальция (до 35 %), магния (до 12 % и более) и соответственно снижением доли кремнезема. Наконец, присутствуют индивиды промежуточного состава. Все эти сферулы техногенного происхождения являются шлаками различных производств (таблица 1).

Присутствие токсичных элементов, установленное с применением микрозондового анализа, отмечено во всех типах сферул (таблица 2). Для железистых и силикатно-железистых сферул характерно присутствие кобальта и цинка, для силикатных – сурьмы.

Специфика химического состава и морфологии магнитных сферул установлены для природно-техногенных осадков каждой градопромышленной агломерации (ГПА) Уральского региона: для Пермской ГПА характерны силикатные сферулы с повышенным

содержанием титана; для территории г. Нижний Тагил – с примесями фосфора, ванадия и цинка; г. Чусовой – марганца и сурьмы; г. Кизел – титана и серы.

Таблица 2

Средние содержания токсичных элементов в магнитных сферулах, мас. %

Разновидности сферул	Река	Zn	Cu	Ni	Co	As	Sb	Cd	Hg	Bi	Число анализов
Железистые	Миасс	0,63	-	0,00	-	0,07	0,16	0,00	0,00	-	2
	Данилиха	-	-	0,07	0,32	0,02	0,00	0,02	0,00	-	8
	Чусовая	-	-	0,11	0,38	0,06	0,00	0,03	0,00	-	4
	Косьва	-	-	0,07	0,38	0,02	0,05	0,02	0,00	-	6
	Тагил	0,92	-	0,03	0,31	0,05	0,00	0,00	0,00	-	3
	Исеть	-	-	0,07	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	2
Силикатно-железистые	Кизел	-	0,07	-	-	0,03	0,05	0,00	0,00	-	5
	Косьва	-	-	0,14	0,34	0,08	0,08	0,00	0,00	-	2
	Тагил	2,13	-	0,06	0,32	0,06	0,20	0,00	0,00	-	2
Силикатные	Миасс	0,10	0,12	-	-	0,05	0,08	0,00	0,00	-	4
	Чусовая	-	-	0,00	0,08	0,00	0,90	0,00	0,00	-	2
	Данилиха	0,75	0,14	0,00	0,07	0,00	0,60	0,00	0,00	0,04	4

Измененные магнетитовые сферулы типичны для природно-техногенных осадков района Кизеловского угольного бассейна (реки Косьва и Кизел), где процессы самоизлива шахтных вод существенно изменяют химический состав речных вод, обуславливая их повышенную кислотность [4]. Активные процессы изменения магнитных сферул происходят в осадках правобережного притока р. Тагил – р. Малой Кушвы. Данный водоток, протекающий по территории промышленной зоны, подвержен одновременно химическому и тепловому загрязнению. Силикатные индивиды составляют около половины общего количества магнитных сферул в Челябинской ГПА, а также в заметном количестве отмечены на территории г. Чусовой.

Выводы. Магнитные сферулы широко распространены в составе современных аллювиальных осадков Уральского региона. Особенно много их на территориях градопромышленных агломераций городов Пермь, Екатеринбург, Нижний Тагил, Чусовой, Губаха. Каждая территория отличается специфическими морфологическими особенностями и химическим составом техногенных сферул. Эти различия обусловлены характером производственной деятельности и последующими процессами преобразования техногенных частиц в речных осадках.

Среди выделенных разновидностей железистые сферулы особенно неустойчивы к воздействию факторов окружающей среды и легко подвержены окислительным процессам. Процессы окисления и другие изменения магнитных сферул могут оказывать воздействие на экологическое состояние природной среды. В частности, некоторая часть токсичных элементов способна переходить в ионную форму и оказывать влияние на состав природных вод.

Другим аспектом, требующим специального изучения, является использование природно-техногенных осадков в качестве строительных материалов, для дорожного покрытия и в ряде производств. Присутствие в их составе таких компонентов, как магнитные сферулы, может быть связано с долговременными и недостаточно ясными процессами взаимодействия с окружающей средой.

Присутствие магнитных сферул в природно-техногенных осадках может быть использовано при проведении литомониторинговых исследований с целью анализа путей миграции и зон концентрации техногенного вещества, степени его преобразования в различных природных обстановках. Важным моментом указанных исследований является учет специфики состава и морфологии обнаруженных магнитных сферул, подтверждающих их происхождение.

Список литературы

1. Ковач Р.Г., Чернянский С.С., Геннадиев А.Н. Метод техногенной магнитной метки для изучения процессов массопереноса в почвенном покрове и эрозионно-русловых системах // Изменения природной среды на рубеже тысячелетий: тр. междунар. электр. конф. Тбилиси-Москва, 2006. С. 213-219.
2. Меньшикова Е.А., Осовецкий Б.М. Магнитные сферулы речных осадков Уральского региона // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2010. Т. 85, вып. 6. С. 57-62.
3. Меньшикова Е.А. Процессы формирования техногенно-аллювиальных осадков рек Урала: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Пермь, 1998. 150 с.
4. Меньшикова Е.А., Блинов С.М. Особенности современного аллювиального седиментогенеза на территории Кизеловского угольного бассейна // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения памяти П.Н.Чирвинского: Сб. науч. статей / Перм. ун-т.-Пермь, 2004. С. 305-315.
5. Осовецкий Б.М., Меньшикова Е.А. Природно-техногенные осадки. Пермь: Пермский университет, 2006. 208 с.
6. Сандиминова Е.Н., Главатских С.Ф., Рычагов С.Н. Магнитные сферулы из вулканогенных пород Курильских островов и Южной Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 1. С. 135-140.
7. Собонович Э.В. Космическое вещество в земной коре. М.: Атомиздат, 1976. 159 с.

Рецензенты:

Катаев В.Н., д.г.-м.н., профессор, проректор по научной работе ПГНИУ, г. Пермь;

Наумов В.А., д.г.-м.н., профессор, директор ЕНИ ПГНИУ, г. Пермь.