

## МИКРОСФЕРЫ КОСМИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РАЗРЕЗА УСОЛКА, ПРЕДУРАЛЬСКИЙ ПРОГИБ

Р.Х. Сунгатуллин\*, Г.М. Сунгатуллина\*, М.И. Закиров\*, В.А. Цельмович\*\*,  
М.С. Глухов\*, А.И. Бахтин\*, Ю.Н. Осин\*, В.В. Воробьев\*

\* Казанский федеральный университет, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18, Россия

\*\* Геофизическая обсерватория «Борок» Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН,  
152742, Ярославская обл., п. Борок, 142, Россия

С применением микронзондового анализа изучены магнетитовые микросферы из каменноугольных отложений эталонного разреза Усолка. Проведено сравнение распределения химических элементов и микросфер. Нахождение микросфер в осадочных толщах рассматривается как дополнительный фактор стратиграфической корреляции осадочных разрезов. Показано, что микросферы имеют космическое происхождение. К причинам палеоклиматических изменений (экстремальное похолодание) и биотических кризисов в позднем палеозое можно отнести периодичность движения Солнечной системы в Галактике, выпадение космической пыли и метеоритные бомбардировки Земли.

*Каменноугольный период, космическая бомбардировка, магнетитовые микросферы, химический состав, палеоклимат, Предуральский прогиб.*

## COSMIC MICROSPHERES IN THE CARBONIFEROUS DEPOSITS OF THE USOLKA SECTION (Urals foredeep)

R.Kh. Sungatullin, G.M. Sungatullina, M.I. Zakirov, V.A. Tsel'movich, M.S. Glukhov,  
A.I. Bakhtin, Yu.N. Osin, and V.V. Vorob'ev

Magnetite microspheres from the Carboniferous deposits of the Usolka reference section were studied by probe microanalysis, with comparison of the distributions of chemical elements and microspheres. The presence of microspheres in sedimentary strata is considered an additional factor for stratigraphic correlation between sedimentary sections. The microspheres are shown to be of cosmic nature. The Late Paleozoic paleoclimatic changes (extreme cooling) and biotic crises were caused by the periodical Solar System motion in the Galaxy, cosmic-dust fallout, and meteorite bombardments of the Earth.

*Carboniferous, cosmic bombardment, magnetite microspheres, chemical composition, paleoclimate, Urals foredeep*

### ВВЕДЕНИЕ

Благодаря широкому внедрению методов электронной сканирующей микроскопии в геологию, в последние годы у отечественных исследователей резко возрос интерес к редким для осадочных отложений металлическим микрочастицам размером до 1 мм разнообразной формы: сферы, капли, пластинки, спирали, проволока [Медведев и др., 2006; Осовецкий, Меньшикова, 2006; Грачев и др., 2008; Карпов, Мохов, 2010; Корчагин, 2010; Корчагин и др., 2010; Печерский и др., 2013а, б; Сунгатуллин и др., 2014, 2015; Акулов и др., 2014; Астахова и др., 2014; Голева и др., 2014; Мурдмаа и др., 2015; Сунгатуллин и др., 2016; и др.]. Отметим, что магнетитовые микросферы в осадочных породах впервые описаны С. Мюрреем еще в 70-е годы XIX в. в ходе экспедиции на судне «Челленджер» [Murray, Renard, 1891]. Они были обнаружены в глубоководных красных глинах, отнесены к объектам космической пыли и названы «космическими шариками». Геологи обратили внимание на подобные частицы в связи с изучением космического вещества и происхождения Земли [Finkelman, 1970; Бадюков и др., 2011; Cordier et al., 2011; и др.], степени влияния земных и космических процессов на климатические и биотические события в геологической истории [Ellwood et al., 2003; Gillman, Erenler, 2008; Ермаков и др., 2009; Бараш, 2012; Глуховский, Кузьмин, 2013; Лозовский, 2013; и др.], перспективностью проведения корреляций глобального, регионального и местного уровней для разнофациальных толщ [Корчагин и др., 2007; Грачев и др., 2008; Raukas, 2000; Мурдмаа и др., 2015; Нигматзянов, 2015; Сунгатуллин и др., 2015, 2016; Sungatullin et al., 2015; и др.]. Однако в геологическом сообществе происхождение подобных металлических микрочастиц вызывает споры; к основным гипотезам их образования относятся природная земная, космическая и техногенная [Грачев, 2010].

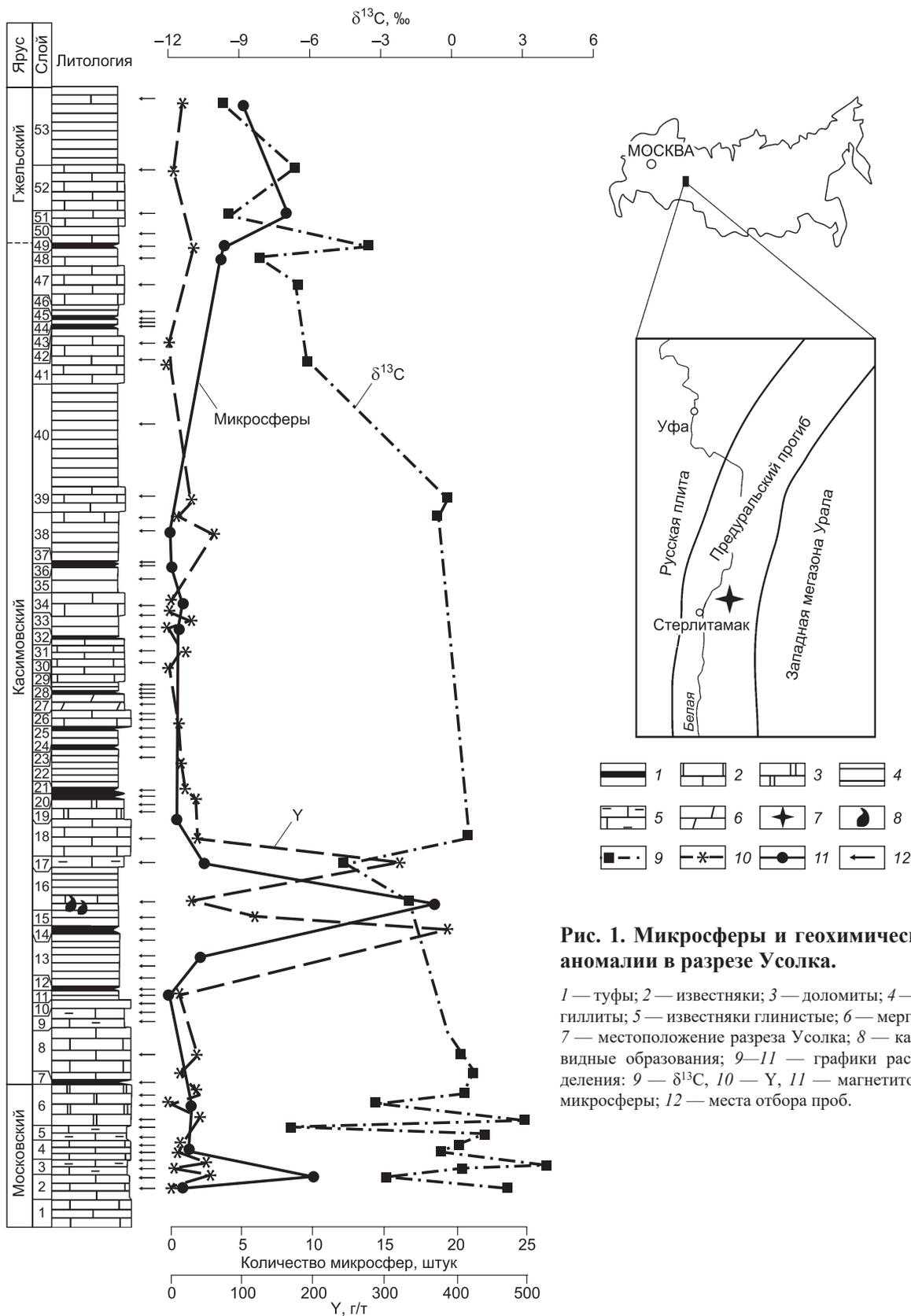
© Р.Х. Сунгатуллин✉, Г.М. Сунгатуллина, М.И. Закиров, В.А. Цельмович, М.С. Глухов, А.И. Бахтин, Ю.Н. Осин, В.В. Воробьев, 2017

✉ e-mail: Rafael.Sungatullin@kpfu.ru

DOI: 10.15372/GiG20170106

## ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящее сообщение посвящено морфологическому описанию и анализу химического состава микросфер, извлеченных из каменноугольных отложений разреза Усолка (рис. 1). Последний расположен в осевой части Стерлитамакской зоны Предуральяского прогиба. Разрез относится к флишевым об-



**Рис. 1. Микросферы и геохимические аномалии в разрезе Усолка.**

1 — туфы; 2 — известняки; 3 — доломиты; 4 — аргиллиты; 5 — известняки глинистые; 6 — мергели; 7 — местоположение разреза Усолка; 8 — каплевидные образования; 9–11 — графики распределения: 9 —  $\delta^{13}\text{C}$ , 10 — Y, 11 — магнетитовые микросферы; 12 — места отбора проб.

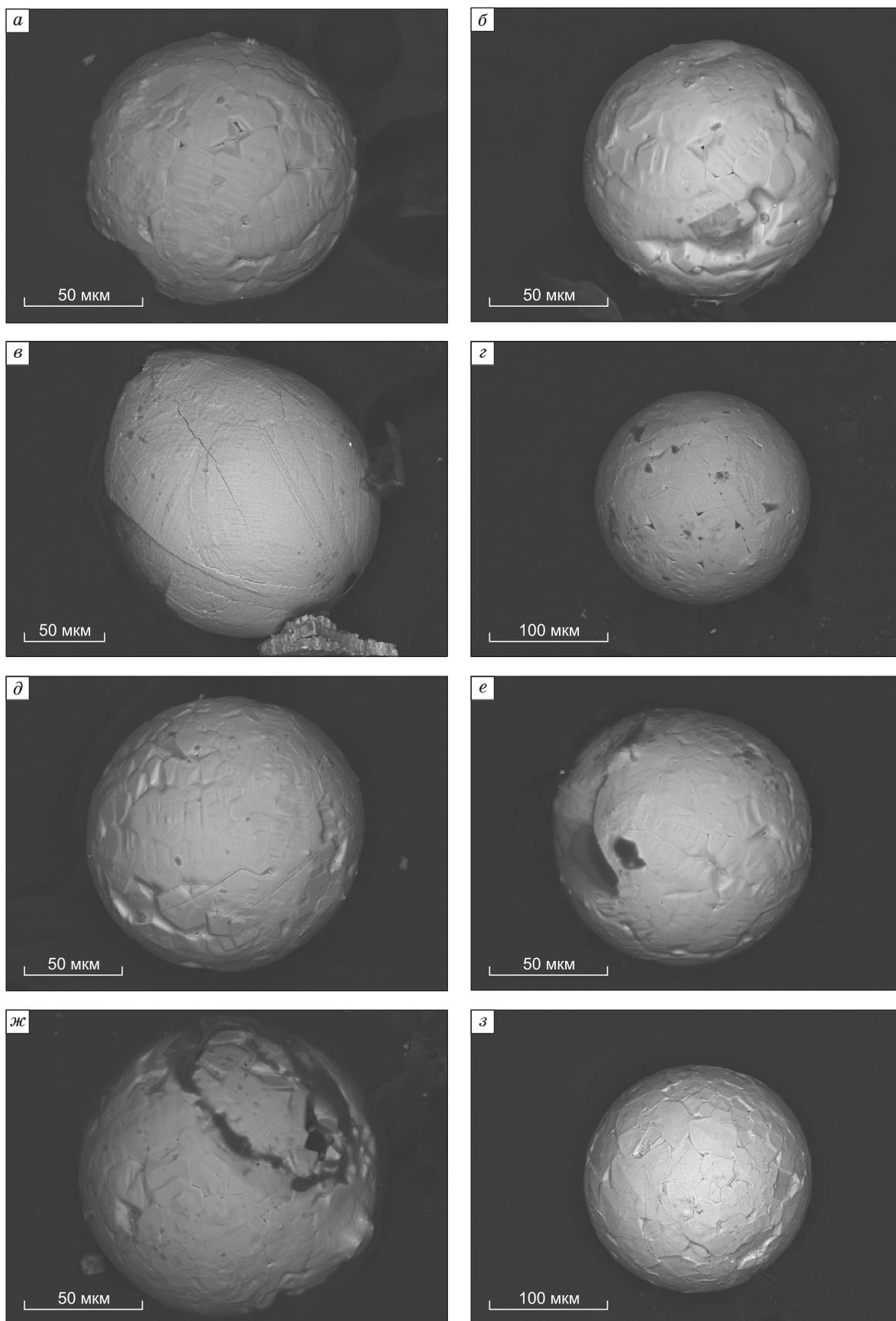
Таблица 1. Состав магнетитовых микросфер из касимовских отложений разреза Усолка

Номер слоя (образца)	Диаметр, мкм	Элемент, мас. %											
		Fe	O	Mn	Cr	Al	Si	Ca	K	Na	Mg	Cl	Прочие
33	200	76.31	22.64	0.28	н. о.	0.14	0.40	0.08	н. о.	н. о.	0.11	н. о.	Zn-0.02
18	100	75.81	22.77	н. о.	0.08	0.19	0.41	0.09	0.14	0.27	н. о.	0.08	P-0.09, S-0.07
16 (1)	150	76.66	22.52	»	н. о.	0.10	0.24	н. о.	н. о.	0.19	»	0.03	S-0.04, Zr-0.22
16 (2)	120	74.42	23.05	0.64	0.04	0.33	0.90	0.09	»	0.17	0.11	0.09	Cu-0.14
16 (3)	190	76.26	22.55	0.35	0.08	0.19	0.27	0.07	»	0.16	н. о.	0.07	н. о.
16 (4)	150	75.98	22.63	н. о.	н. о.	0.13	0.26	0.16	0.18	0.30	»	0.18	P-0.19
16 (6)	135	76.10	22.75	»	»	0.20	0.55	0.03	н. о.	н. о.	0.11	н. о.	Zn-0.25
16 (7)	125	76.99	22.51	»	»	0.17	0.19	н. о.	»	»	0.13	»	н. о.
16 (8)	85	77.16	22.41	»	»	0.12	0.14	»	»	»	н. о.	»	Zn-0.17
16 (9)	135	76.00	22.68	»	»	0.11	0.30	0.21	0.13	0.15	0.13	0.09	P-0.10, S-0.04, Sc-0.07
16 (10)	120	77.15	22.45	0.10	»	0.09	0.21	н. о.					
16 (11)	145	77.12	22.47	н. о.	»	н. о.	0.23	»	0.04	0.10	»	»	S-0.05
16 (12)	125	74.59	22.91	0.16	»	0.17	0.34	0.09	0.46	0.40	0.19	0.23	P-0.25, S-0.14, Ni-0.07
16 (14)	140	77.04	22.53	н. о.	»	0.15	0.28	н. о.					
16 (15)	105	77.35	22.41	»	»	0.10	0.14	»	»	»	»	»	»
16 (17)	125	76.26	22.82	»	»	0.31	0.61	»	»	»	»	»	»
16 (18)	145	77.56	22.33	»	»	н. о.	0.10	»	»	»	»	»	»
16 (19)	190	76.17	22.65	0.34	0.14	0.28	0.34	0.08	»	»	»	»	»
16 (20)	120	76.95	22.39	0.13	н. о.	н. о.	0.19	0.04	»	0.18	»	0.05	Ni-0.07
16 (21)	95	74.36	23.23	0.68	»	0.57	1.01	0.12	»	н. о.	»	н. о.	V-0.03
13 (1)	110	77.51	22.36	н. о.	»	н. о.	0.13	н. о.	»	»	»	»	н. о.
13 (2)	190	76.48	22.49	»	»	0.17	0.24	0.05	0.10	0.33	»	0.14	»
13 (3)	115	76.64	22.45	0.34	»	н. о.	0.12	0.11	н. о.	н. о.	»	н. о.	P-0.12, Ni-0.13, Zn-0.10
Среднее	135	76.39	22.61	0.13	0.01	0.15	0.33	0.05	0.05	0.10	0.03	0.04	

Примечание: н. о. – не обнаружено (здесь и далее).

разованиям конденсированного типа (от среднего карбона до нижней перми) карбонатно-глинисто-кремнистого состава с прослоями вулканических туфов. Он характеризуется непрерывностью седиментации, хорошей обнаженностью; детально изучен в биостратиграфическом и литологическом аспектах [Чувашов и др., 1990; Мизенс, 1997; Nelson, Ritter, 1999; Zeng et al., 2012; Sungatullina et al., 2014]. В разрезе Усолка проведено абсолютное датирование по цирконам [Schmitz, Davydov, 2012], изучен изотопный состав углерода [Сунгатуллина и др., 2014]. Значения  $\delta^{13}\text{C}$  изменяются от 9.32 до 3.29 ‰ (см. рис. 1), при этом отложения московского и нижней части касимовского яруса по изотопным данным можно отнести к нормально-осадочным морским образованиям ( $\delta^{13}\text{C}$  –2...2 ‰). Для верхнекасимовских и гжельских пород характерно резкое облегчение изотопного состава углерода ( $\delta^{13}\text{C}$  –9.32...–4.00 ‰), что может указывать на палеоклиматические изменения [Sungatullina et al., 2014]. Некоторыми исследователями разрез Усолка предлагается в качестве эталонного объекта [Chernykh et al., 2006], поэтому здесь проведена полевая экскурсия XVIII Международного конгресса по каменноугольной и пермской системам [Southern Urals, 2015].

В породах изученного разреза преимущественно обнаруживаются магнетитовые микросферы и каплевидные (бутылеобразные) частицы, реже — микросферы силикатного и апатитового составов, а также металлические образования пластинчатой и стружковидной форм разнообразного химического состава. В данной работе рассматриваются только магнетитовые микросферы и каплевидные образования, которые отбирали из палеонтологических проб на конодонты. Пробоподготовка заключалась в растворении пород с помощью 10%-го раствора уксусной кислоты. Затем нерастворимый остаток высушивали, и из него с помощью микроскопа, препаровальной иглы и постоянного магнита отбирали метал-



**Рис. 2. Микросферы разреза Усолка.**

Состав см. табл. 1. *а–в* — образцы из слоя 13 (*а* — 13 (1), *б* — 13 (2), *в* — 13 (3)); *г–ж* — образцы из слоя 16 (*г* — 16 (1), *д* — 16 (10), *е* — 16 (17), *ж* — 16 (19)); *з* — образец из слоя 33.

лические микрочастицы. Это исключало попадание в пробу посторонних металлических частиц из лабораторной посуды.

Мощность исследованной части разреза составила 12 м. Обработано 70 проб; в 20 пробах обнаружены микросферы в количестве от 1—2 до 20 штук и более, в двух пробах встречены каплевидные образования (см. рис. 1). Микрочастицы анализировали в лаборатории Казанского федерального университета на автоэмиссионном сканирующем электронном микроскопе «MERLIN» Carl Zeiss, оснащённом энергодисперсионным спектрометром «AZTEC» X-MAX Oxford Instruments.

Средний диаметр исследованных микросфер составляет 135 мкм (рис. 2, табл. 1), что значительно больше (в 3—6 раз) размера аналогичных объектов из других регионов [Корчагин и др., 2007, 2010; Грачев и др., 2008; Корчагин, 2010]. С другой стороны, микросферы разреза Усолка вдвое меньше ранее изученных нами микросфер из палеозойских отложений Прикаспийской впадины [Сунгатуллин и др., 2014, 2015; Sungatullin et al., 2015]. Усольские микросферы обладают разнообразной рельефной поверхностью (такры, таблички, выступы, микрократеры, треугольные впадины и др.), что, наряду с почти идеальной сферичностью (см. рис. 2), считается одним из определяющих критериев их космогенности [Грачев, 2010; Корчагин, 2010].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ химического состава микросфер показал (см. табл. 1), что главными их элементами являются железо и кислород, на долю которых приходится 98.5—99.5 % веса всех элементов. Таким образом, минеральный состав микросфер является очень примитивным и включает поликристаллический агрегат магнетита (преобладает) и вюстита; возможно, присутствует и небольшая доля самородного железа. Подобный минеральный состав характерен для каменных метеоритов [Грачев, 2010]. Сопоставление содержаний кислорода и железа в магнетитовых микросферах из разреза Усолка и из палеозойских отложений Прикаспийской впадины выявило их общие тренды (рис. 3), что свидетельствует о едином генезисе данных образований.

В микросферах равномерно распределено незначительное (максимум 0.68 %) количество марганца; в единичных образцах содержания хрома и никеля достигают соответственно 0.14 и 0.13 %. Отсутствие титана подтверждает внеземную природу микросфер [Корчагин, 2010; Корчагин и др., 2010], а незначительное количество Al, Ca, K (см. табл. 1) указывает на их формирование в результате абляции каменных метеоритов [Finkelman, 1970]. Распределение Fe и Si в микросферах (рис. 4) также указывает на их внеземной или импактный генезис. Дополнительным подтверждением подобного вывода является размещение силикатных микросфер (тектитов) из разреза Усолка в области импактитов. Таким образом, по химическим и минералогическим параметрам микросферы разреза Усолка можно, с большой вероятностью, отнести к объектам космического происхождения.

Интересно внутреннее строение магнетитовых микросфер (рис. 5). Наряду с цельными магнетитовыми шариками с доменной структурой, встречаются полые микросферы с магнетитовой коркой толщиной до 1/2 радиуса. На расплавленной поверхности микросфер встречаются выделения-выпоты бари-

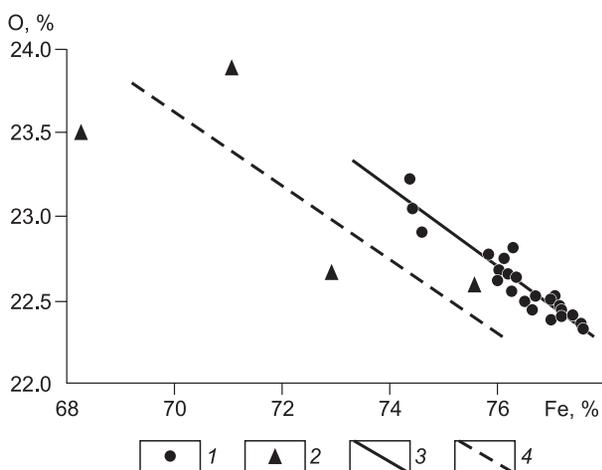


Рис. 3. Зависимость между содержаниями железа и кислорода в магнетитовых микросферах.

1 — разрез Усолка; 2 — Прикаспийская впадина; 3, 4 — тренды: 3 — разрез Усолка; 4 — Прикаспийская впадина.

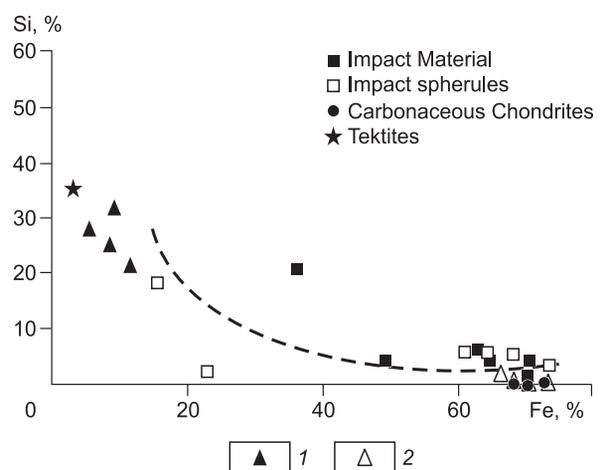
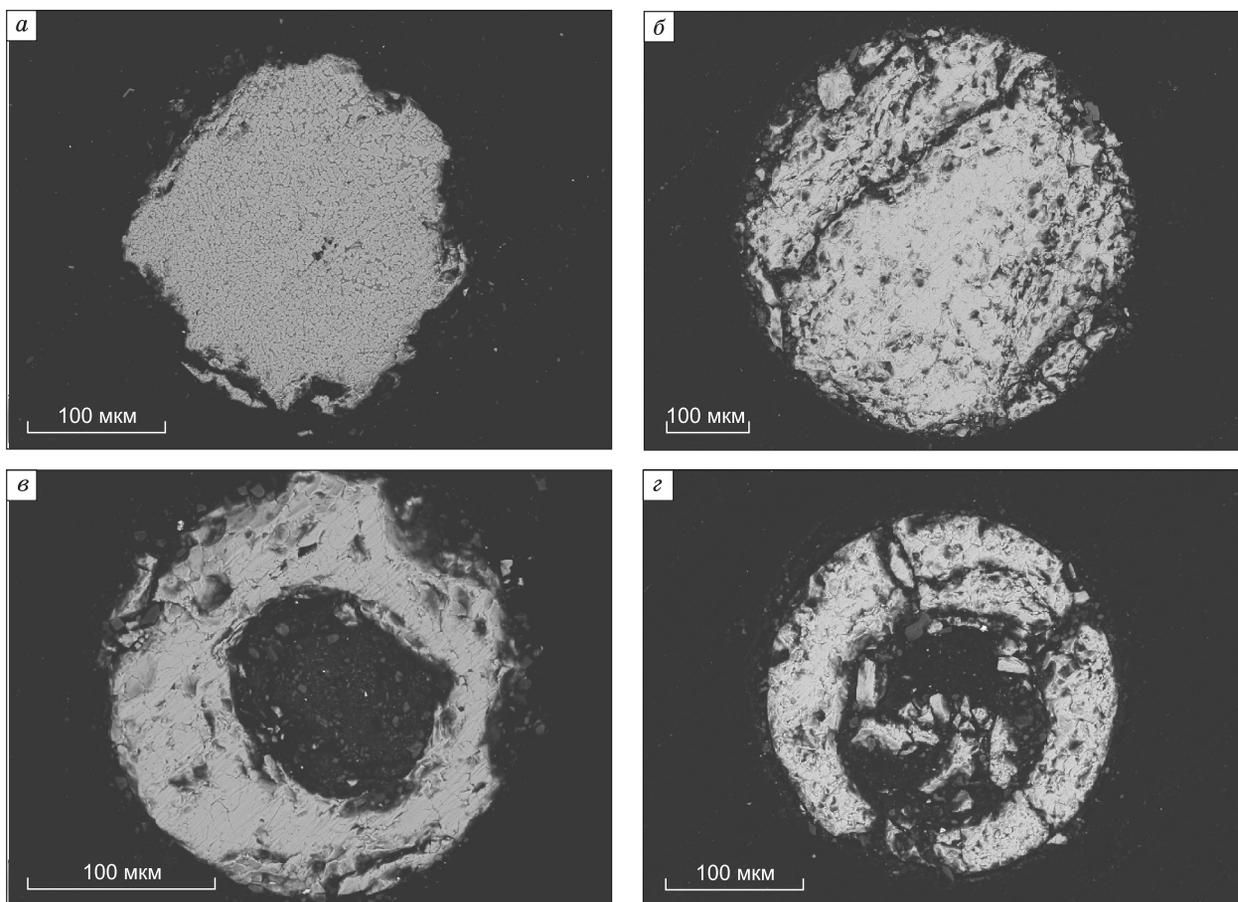


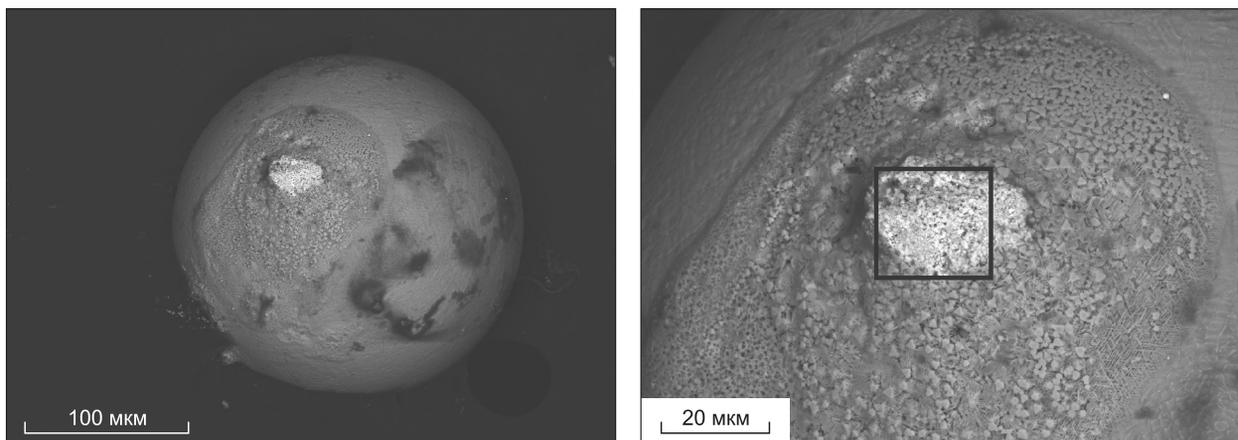
Рис. 4. Породы из ударных кратеров, микросферы из углистых хондритов и импактитов, по [Fayek et al., 2012].

1, 2 — микросферы разреза Усолка: 1 — силикатные (тектиты), 2 — магнетитовые; штриховая линия — тренд хондритов—импактиты.



**Рис. 5. Полированные срезы микросфер разреза Усолка.**

*а, б* — цельные микросферы, *в, г* — полые микросферы с магнетитовой коркой.



**Рис. 6. Оплавленная магнетитовая микросфера с баритом на поверхности.**

Образец из слоя 16.

та (рис. 6, 7; табл. 2), которые четко проявляют сложную текстуру магнетитовой корки. При этом внутреннее строение подобных микросфер напоминает в миниатюре строение земного шара с проявлениями мантийной конвекции [Котелкин, Лобковский, 2011].

Среди металлических частиц в разрезе Усолка встречаются каплевидные образования (рис. 8), которые по размерам сопоставимы с микросферами. Капли приурочены к интервалу максимального содержания магнетитовых микросфер в нижней части касимовского яруса (см. рис. 1). Сравнение химиче-

Таблица 2. Химический состав барита

Элемент	Мас. %
O	26.17
Mg	0.48
Al	0.28
Si	0.41
S	8.15
Ca	2.90
Fe	23.27
Zn	4.58
Sr	0.92
Ba	32.83
Сумма	100.00

ского состава микросфер и каплевидных образований (см. табл. 1, 3) показывает, что они имеют общее происхождение. Морфологические же отличия микросфер и капель, возможно, отвечают разной скорости остывания расплавленного вещества и разного времени нахождения частиц в воздушной или водной среде.

Ранее было установлено [Gallia et al., 2005; Ермаков и др., 2009; Бараш, 2012], что некоторые космические явления, наряду с земными процессами, могут вызывать изменения изотопного состава углерода. Сравнение изотопных данных в касимовских и гжельских карбонатах разреза Усолка с глобальной углеродной шкалой [Saltzman, Thomas, 2012], изотопными данными по нижнему и среднему карбону Уральского региона и Подмосковья [Bruckschen et al., 1999; Mii et al., 2001; Grossman et al., 2008; Buggisch et al., 2011] позволило установить аномально низкие значения  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  (до  $-16\text{‰}$ ) в Предуралье

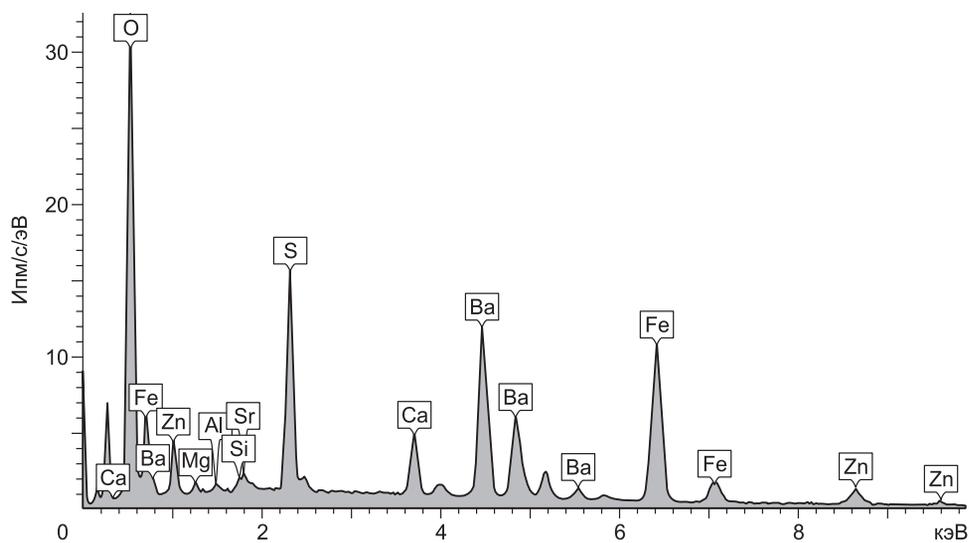
[Nelson, Ritter, 1999; Zeng et al., 2012; Сунгатуллина и др., 2014], которые не связаны с диагенетическими изменениями [Чувашов и др., 1990; Nelson, Ritter, 1999]. Причинами подобных аномалий  $\delta^{13}\text{C}$  могли быть глубоководные условия осадконакопления, местные климатические и тектонические особенности [Nelson, Ritter, 1999; Sungatullina et al., 2014], наличие метановых выбросов на дне морского палеобассейна [Zeng et al., 2012].

Совместный анализ результатов изотопных исследований в Предуральском прогибе и распределения микросфер в разрезе Усолка показал (рис. 9), что одной из возможных причин отрицательных аномалий могла являться метеоритная бомбардировка с образованием космической пыли на рубеже московского и касимовского веков [Закиров, Сунгатуллин, 2015]. На основе совпадения максимальной концентрации микросфер с возникновением отрицательной аномалии углерода в разрезе Усолка (см. рис. 1, 9) выдвинуто предположение, что выпадения космической пыли за счет метеоритных бомбардировок (и/или импактных событий) могли произойти в середине серпуховского века и на границе сакмарского и артинского веков. Необходимо отметить, что сегодня в позднелазоэозойской истории Земли (250—350 млн лет назад, т. е. практически полностью каменноугольный и пермский периоды) имеются лишь единичные данные об импактных событиях [Михеева, 2012; Нигматзянов, 2015].

С учетом Международной хроностратиграфической шкалы [International..., 2015] и абсолютного датирования цирконов из разреза Усолка [Schmitz, Davydov, 2012], временная разница между космическим событием и климатическим откликом в изученном нами регионе могла составлять от первых сотен тысяч до 1—2 млн лет. Возможно, это отразилось в аномалиях некоторых химических элементов. На-

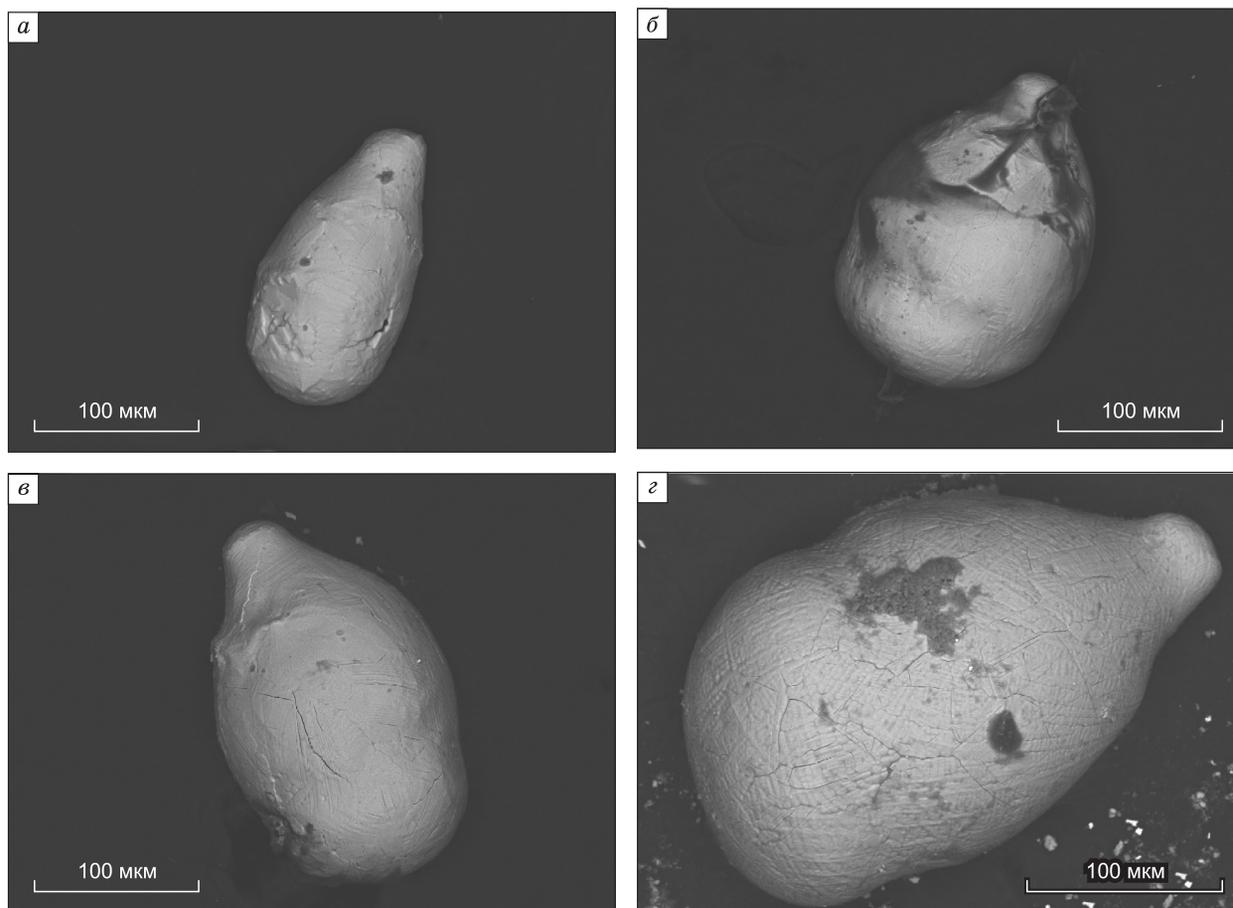
Таблица 3. Состав магнетитовых каплевидных выделений в каменноугольных отложениях, мас. %

Параметр	Разрез Усолка, номер слоя (образца)			Среднее для разреза Усолка	Карачаганак, обр. 23/4450
	16 (5)	16 (13)	16 (16)		
Fe	77.37	75.76	77.11	76.75	72.91
O	22.41	22.52	22.50	22.48	22.66
Mn	н. о.	0.07	0.13	0.07	0.21
Ni	»	0.07	н. о.	0.02	н. о.
Al	»	0.07	0.16	0.08	»
Si	0.22	0.13	0.23	0.19	0.33
Na	н. о.	0.40	н. о.	0.13	0.41
K	»	0.22	»	0.07	0.34
Ca	»	н. о.	»	н. о.	2.83
Mg	»	0.09	»	0.03	н. о.
Cl	»	0.05	»	0.02	0.31
P	»	0.14	»	0.05	н. о.
S	»	0.06	»	0.02	»
Zn	»	0.21	»	0.07	»
Длина, мкм	180	200	235	205	310
Ширина, мкм	100	145	145	130	200



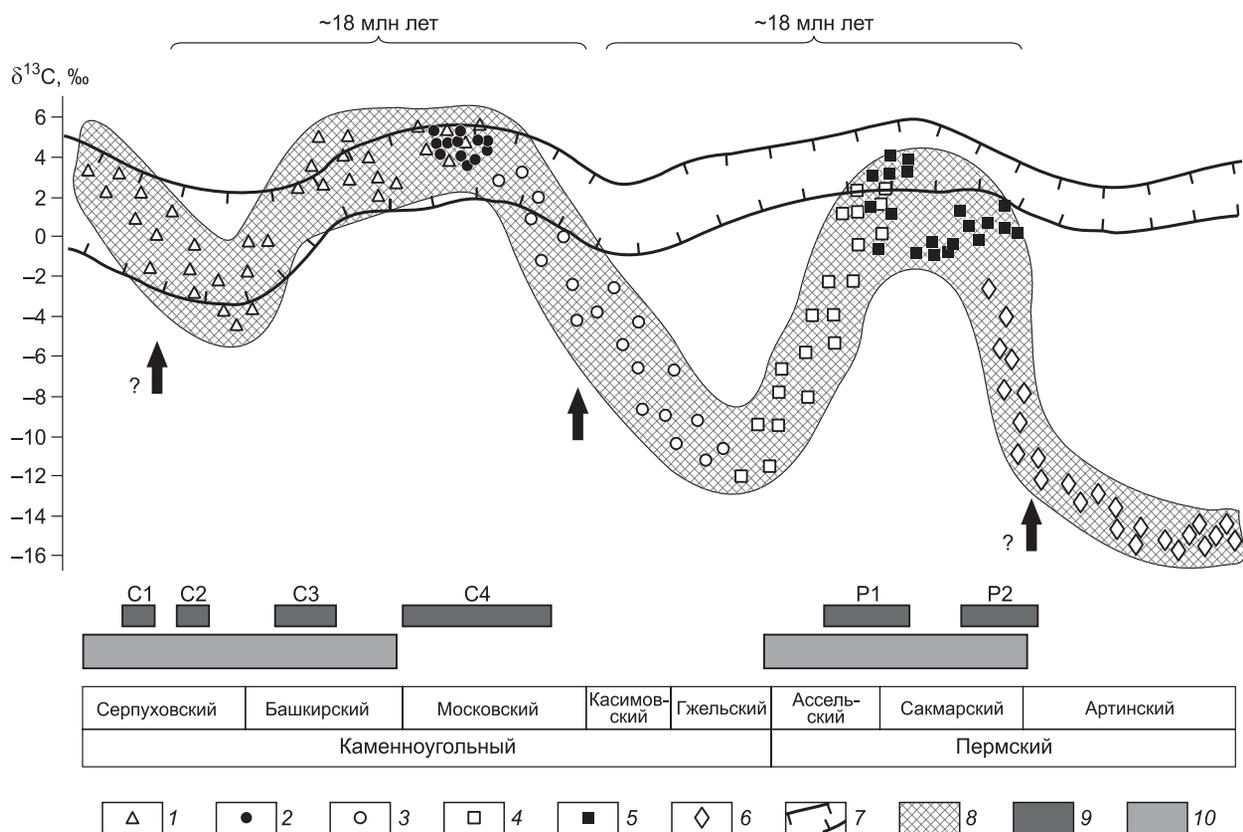
**Рис. 7. Энергодисперсионный спектр барита.**

См. рис. 6, табл. 2.



**Рис. 8. Каплевидные образования.**

Состав см. табл. 3. *а–в* — образцы разреза Усолка (*а* — 16 (5), *б* — 16 (13), *в* — 16 (16)); *г* — обр. 23/4450 Карачаганакского месторождения, Прикаспийская впадина.



**Рис. 9. Отрицательные аномалии  $\delta^{13}\text{C}$  в верхнепалеозойских отложениях Предуралья, по [Закиров, Сунгатуллин, 2015] с дополнениями.**

1 — данные по Предуральному прогибу [Bruckschen et al., 1999; Mii et al., 2001; Grossman et al., 2008], 2, 3 — оригинальные данные по разрезам: 2 — Басу, 3 — Усолка; 4–6 — данные предшественников по разрезам: 4 — Усолка [Nelson, Ritter, 1999; Zeng et al., 2012], 5 — Кондуровский [Zeng et al., 2012], 6 — Дальний Тюлькас [Zeng et al., 2012]; 7 — тренды: 7 — глобальная углеродная шкала [Saltzman, Thomas, 2012], 8 — Предуральский прогиб; 9, 10 — гляциальные периоды: 9 — по [Fielding et al., 2008], 10 — по [Isbell et al., 2003]. Стрелками отмечены интервалы выпадения космической пыли в виде микросфер.

пример, на границе московского и касимовского веков фиксируется аномалия иттрия (см. рис. 1), превышающая фоновые значения в 100–300 раз и совпадающая с предполагаемым космическим событием 306–308 млн лет назад. Это почти середина самого экстремально холодного времени в фанерозойской летописи [Frakes, 1979; Sankaran, 2008; Герман, 2009] — гондванской гляциоэры [Чумаков, 2015]. Кроме того, 310 млн лет назад начался палеомагнитный суперхрон обратной полярности Киамы, который отвечает стабилизации внутренних земных процессов на протяжении последующих 50 млн лет. Поэтому геохимические аномалии в Предуралье могут быть связаны в большей степени с внешними космическими событиями [Gillman, Erenler, 2008] и импактными бомбардировками [Бараш, 2012]. Подобный вывод находит свое подтверждение в повышенном содержании магнетитовых микросфер в осадочных отложениях разреза Усолка. Шаг аномальных значений  $\delta^{13}\text{C}$  (~18 млн лет, см. рис. 9) отражает, по-видимому, определенный вклад в изменения изотопного состава именно периодических космических событий, например, строгой повторяемости движения Солнечной системы в Галактике [Баренбаум, 2002; Гончаров, Орлов, 2003], что, однако, не исключает влияния на изотопные системы земных процессов [Фор, 1989; Диденко, 2011; и др.].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из вышеизложенного, можно констатировать, что изученные магнетитовые микросферы, возможно, образовались в земной атмосфере при полете и разбрызгивании метеоритного тела. Это событие произошло на границе московского и касимовского веков и оказало влияние на местные климатические особенности, что нашло отражение в отрицательных аномалиях  $\delta^{13}\text{C}$ . Таким образом, одной из причин палеоклиматических изменений на Земле могли являться внеземные процессы, связанные со

строго периодическими движениями Солнечной системы в Галактике, выпадением космической пыли и метеоритными бомбардировками Земли.

Нахождение металлических микрочастиц в осадочных толщах, включая магнетитовые микросферы космического происхождения, может выступить новым инструментом для региональной стратиграфической корреляции разрезов, привести к пересмотру моделей биотических кризисов и выявлению их причин (космических и/или земных), а также использоваться как индикатор импактных событий. По мнению авторов, необходимо продолжить специальные литолого-геохимические, минералогические, палеонтологические, палеомагнитные и космологические исследования по поиску импактных структур в верхнепалеозойских отложениях.

Работа выполнена за счет средств субсидий, выделенных Казанскому (Приволжскому) федеральному университету в рамках государственной поддержки в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров и для выполнения проектной части государственного задания в сфере научной деятельности, проектов РФФИ № 13-05-00348а, 16-05-00703а, 16-05-00306а.

## ЛИТЕРАТУРА

**Акулов Н.И., Павлова Л.А., Антипин Е.В.** Геохимические особенности микрометеоритов в донных отложениях озера Байкал // ДАН, 2014, т. 454, № 6, с. 695—700.

**Астахова Н.В., Колесник О.Н., Съедин В.Т.** Рудная минерализация в вулканических породах подводных возвышенностей Японского моря // Геохимия, 2014, № 2, с. 158—177.

**Бадюков Д.Д., Иванов А.В., Райтала Й., Хисина Н.Р.** Сферические микрочастицы из района Тунгусского события: может ли их источником быть Тунгусское космическое тело? // Геохимия, 2011, № 7, с. 675—689.

**Бараш М.С.** Причины и первопричины массовых вымираний биоты в фанерозое // ДАН, 2012, т. 445, № 4, с. 424—427.

**Баренбаум А.А.** Галактика, Солнечная система, Земля. Соподчиненные процессы и эволюция. М., ГЕОС, 2002, 394 с.

**Герман А.Б.** Палеоботаника и климат Земли: взгляд в будущее из геологического прошлого // Вестник РАН, 2009, т. 79, № 5, с. 387—393.

**Глуховский М.З., Кузьмин М.И.** Котуйканская кольцевая структура: возможное свидетельство масштабного импактного события на севере Сибирского кратона // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (1), с. 3—26.

**Голева Р.В., Луговская И.Г., Мельников М.Е.** О генезисе «космических шариков» в железомарганцевых рудах Мирового океана // Отечественная геология, 2014, № 1, с. 55—61.

**Гончаров Г.Н., Орлов В.В.** Глобальные повторяющиеся события в истории Земли и движение Солнца в Галактике // Астрономический журнал, 2003, т. 80, № 11, с. 1002—1012.

**Грачев А.Ф.** К вопросу о природе космической пыли в осадочных породах // Физика Земли, 2010, № 11, с. 3—13.

**Грачев А.Ф., Корчагин О.А., Цельмович В.А., Колман Х.А.** Космическая пыль и микрометеориты в переходном слое глин на границе мела и палеогена в разрезе Гамс (Восточные Альпы): морфология и состав // Физика Земли, 2008, № 7, с. 42—57.

**Диденко А.Н.** О возможной причине квазипериодических колебаний частоты геомагнитных инверсий и величины  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в морских карбонатных породах в фанерозое // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (12), с. 1945—1956.

**Ермаков В.И., Охлопков В.П., Стожков Ю.И.** Влияние космической пыли на климат Земли // Вестник МГУ, серия 3, Физика. Астрономия, 2009, № 2, с. 100—102.

**Закиров М.И., Сунгатуллин Р.Х.** Аномальные содержания  $\delta^{13}\text{C}$  в верхнепалеозойских отложениях Предуральяского прогиба // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. геол., 2015, № 2, с. 26—30.

**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.

**Корчагин О.А.** Присутствие металлических микросфер и микрочастиц в раннем сеномане Крыма — «космическое пылевое событие» // ДАН, 2010, т. 431, № 6, с. 783—787.

**Корчагин О.А., Цельмович В.А., Дубинина С.В.** Метеоритные микросферы и частицы из глаубоководных известняков верхнего кембрия (Батырбай, Южный Казахстан) // Известия вузов. Геология и разведка, 2007, № 3, с. 17—22.

**Корчагин О.А., Цельмович В.А., Поспелов И.И., Цяньтао Бянь** Космические магнетитовые микросферы и металлические частицы вблизи границы пермь—триас в точке глобального стратотипа границы (слой 27, Мэйшань, Китай) // ДАН, 2010, т. 432, № 2, с. 232—238.

- Котелкин В.Д., Лобковский Л.И.** Термохимическая теория геодинамической эволюции // ДАН, 2011, т. 438, № 3, с. 365—368.
- Лозовский В.Р.** Пермотриасовый кризис и его возможная причина // Бюл. МОИП. Отд. геол., 2013, т. 88, вып. 1, с. 49—58.
- Медведев Е.И., Молчанов В.П., Хомич В.Г.** Палладийсодержащее золото, микросферулы магнетита и шорломита россыпей Благодатненского узла (Приморье) и возможные их источники // Тихоокеанская геология, 2006, т. 25, № 4, с. 92—96.
- Мизенс Г.А.** Верхнепалеозойский флиш Западного Урала. Екатеринбург, УрО РАН, 1997, 230 с.
- Михеева А.В.** Полный каталог импактных структур Земли, 2012. <http://labmpg.sscc.ru/impact>
- Мурдмаа И.О., Печерский Д.М., Нургалиев Д.К., Кузина (Гильманова) Д.М., Слоистов С.М.** Самородное железо космического происхождения в глубоководных отложениях Северо-Западной Атлантики по данным термомагнитного анализа // Литология и полезные ископаемые, 2015, № 2, с. 129—147.
- Нигматзянов Р.С.** Галактическая первопричина границ в истории Земли // Отечественная геология, 2015, № 3, с. 70—83.
- Осовецкий Б.М., Меньшикова Е.А.** Природно-техногенные осадки. Пермь, Пермский государственный университет, 2006, 209 с.
- Печерский Д.М., Гильманова Д.М., Иванов Е.В., Кузьмин М.И., Марков Г.П., Нургалиев Д.К., Цельмович В.А.** Самородное железо в осадках озера Байкал (скважина BDP-98): результаты термомагнитного анализа // Геология и геофизика, 2013а, т. 54 (9), с. 1336—1347.
- Печерский Д.М., Гильманова Д.М., Казанский А.Ю., Кривоногов С.К., Нургалиев Д.К., Цельмович В.А.** Самородное железо в четвертичных отложениях Дархатской впадины, Северная Монголия // Геология и геофизика, 2013б, т. 54 (12), с. 1923—1941.
- Сунгатуллин Р.Х., Сунгатуллина Г.М., Осин Ю.Н., Трифонов А.А.** Космическое вещество в нефтеносных отложениях Среднего Каспия // Нефтяное хозяйство, 2014, № 9, с. 77—79.
- 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.
- Сунгатуллин Р. Х., Цельмович В. А., Вафин Р. А., Сунгатуллина Г. М.** Геоморфологические и геолого-минералогические признаки импактного происхождения озерной котловины Рабига Куль, Республика Татарстан // Геоморфология, 2016, № 1, с. 64—72.
- Сунгатуллина Г.М., Сунгатуллин Р.Х., Закиров М.И., Гареев Б.И., Баталин Г.А.** Изотопный состав углерода каменноугольных отложений разреза Усолка, Южный Урал // Вестник Воронежского гос. ун-та. Сер. геол., 2014, № 4, с. 13—16.
- Фор Г.** Основы изотопной геологии. М., Мир, 1989, 590 с.
- Чувашов Б.И., Дюпина Г.В., Мизенс Г.А., Черных В.В.** Опорные разрезы верхнего карбона и нижней перми западного склона Урала и Приуралья. Свердловск, УрО АН СССР, 1990, 402 с.
- Чумаков Н.М.** Роль оледенений в биосфере // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (4), с. 694—702.
- Bruckschen P., Oesmann S., Veizer J.** Isotope stratigraphy of the European Carboniferous. Proxy signals for ocean chemistry, climate, and tectonics // Chem. Geol., 1999, v. 161, p. 127—163.
- Buggisch W., Wang X., Alekseev A.S., Joachimski M.M.** Carboniferous—Permian carbon isotope stratigraphy of successions from China (Yangtze platform), USA (Kansas) and Russia (Moscow Basin and Urals) // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 2011, v. 301, p. 18—38.
- Chernykh V.V., Chuvashov B.I., Davydov V.I., Schmitz M., Snyder W.S.** Usolka section (southern Urals, Russia): a potential candidate for GSSP to define the base of the Gzhelian Stage in the global chronostratigraphic scale // Geologija (Ljubljana), 2006, v. 49, № 2, p. 205—217.
- Cordier C., Folco L., Taylor S.** Vestoid cosmic spherules from the South Pole Water Well and Transantarctic Mountains (Antarctica): A major and trace element study // Geochim. Cosmochim. Acta, 2011, v. 75, p. 1199—1215.
- Ellwood B.B., MacDonald W.D., Wheeler C., Benois S.L.** The K-T boundary in Oman: identified using magnetic susceptibility field measurements with geochemical confirmation // Earth Planet. Sci. Lett., 2003, v. 206, p. 529—540.
- Fayek M., Anovitz L.M., Allard L.F., Hull S.** Framboidal iron oxide: Chondrite-like material from the black mat, Murray Springs, Arizona // Earth Planet. Sci. Lett., 2012, v. 319—320, p. 251—258.
- Fielding C.R., Frank T.D., Birgenheier L.P., Rygel M.C., Jones A.T., Roberts J.** Stratigraphic imprint of the Late Palaeozoic ice age in eastern Australia: a record of alternating glacial and nonglacial climate regime // J. Geol. Soc., 2008, v. 165 (1), p. 129—140.

**Finkelman R.B.** Magnetic particles extracted from manganese nodules: suggested origin from stony and iron meteorites // *Science*, 1970, v. 167, p. 982—984.

**Frakes L.A.** *Climates throughout geologic time*. Amsterdam, N.Y., Elsevier Scientific, 1979, 322 p.

**Gallia M.T., Jadoul F., Bernasconi S.M., Weissert H.** Anomalies in global carbon cycling and extinction at the Triassic/Jurassic boundary: evidence from a marine C-isotope record // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2005, v. 216, p. 203—214.

**Gillman M., Erenler H.** The galactic cycle of extinction // *Int. J. Astrobiol.*, 2008, v. 7, № 1, p. 17—26.

**Grossman E.L., Yancey T.E., Jones T.E., Bruckschen P., Chuvashov B., Mazzullo S.J., Mii S.J.** Glaciation, aridification, and carbon sequestration in the Permo-Carboniferous: The isotopic record from low latitudes // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2008, v. 268, p. 222—233.

**International Chronostratigraphic Chart 2015/01** / <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>.

**Isbell J.L., Miller M.F., Wolfe K.L., Lenaker P.A.** Timing of late Paleozoic glaciation in Gondwana: was glaciation responsible for the development of northern hemisphere cyclothem? // *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, 2003, v. 370, p. 5—24.

**Mii Horng-Sheng, Grossman E.L., Yancey T.E., Chuvashov B., Egorov A.** Isotopic records of brachiopod shells from the Russian Platform — evidence for the onset of mid-Carboniferous glaciations // *Chem. Geol.*, 2001, v. 175, p. 133—147.

**Murray S., Renard A.F.** Report on deep-sea deposits based on the specimens collected during the voyage of H.M.S. Challenger in the years 1872 to 1876. V. 3. Neil, Edinburgh, 1891.

**Nelson S.T., Ritter S.M.** A large carbon isotope anomaly at the Carboniferous—Permian boundary: the Usolka River section of Russia // *Permophiles*, 1999, v. 33, p. 19—21.

**Raukas A.** Investigation of impact spherules — a new promising method for the correlation of Quaternary deposits // *Quat. Int.*, 2000, v. 68—71, p. 241—252.

**Saltzman M.R., Thomas E.** Carbon isotope stratigraphy // *The Geologic Time Scale*, 2012, p. 207—232.

**Sankaran A.V.** Galactic triggering of geologic events in earth's history // *Current Sci.*, 2008, v. 95, № 6, p. 714—716.

**Schmitz M.D., Davydov V.I.** Quantitative radiometric and biostratigraphic calibration of the Pennsylvanian—Early Permian (Cisuralian) time scale and pan-Euramerican chronostratigraphic correlation // *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 2012, v. 124, № 3—4, p. 549—577.

**Southern Urals.** Deep water successions of the Carboniferous and Permian. A field guidebook of XVIII International Congress on Carboniferous and Permian. Pre-Congress A3 Trip, August, 6—10, 2015 / V.V. Chernykh, B.I. Chuvashov, V.I. Davydov, C.M. Henderson, S. Shen, M.D. Schmitz, G.M. Sungatullina, R.Kh. Sungatullin, J.E. Barrick, O.P. Shilovsky. Kazan, Tatarstan Academy of Sciences Press, 2015, 88 p.

**Sungatullin R.H., Bakhtin A.I., Sungatullina G.M., Tsel'movich V.A., Glukhov M.S., Osin Yu.N., Vorobiev V.V.** Composition and morphology of metal microparticles in Paleozoic sediments of Caspian depression // *Int. J. App. Engin. Res.*, 2015, v. 10, № 24, p. 45372—45382.

**Sungatullina G.M., Sungatullin R.Kh., Davydov V.I., Shilovsky O.P., Zakirov M.I., Gareev B.I., Batalin G.A., Statsenko E.O.** Results of the research of the Kasimovian rocks of the Usolka section, South Ural // *Proceeding of Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting «Carboniferous and Permian Earth systems, stratigraphic events, biotic evolution, sedimentary basins and resources»* (October 20—23, 2014). Kazan, 2014, p. 91—92.

**Zeng Jun, Cao Chang-qun, Davydov V.I., Shen Shu-zhong.** Carbon isotope chemostratigraphy and implications of palaeoclimatic changes during the Cisuralian (Early Permian) in the southern Urals, Russia // *Gondwana Res.*, 2012, v. 21, p. 601—610.

*Рекомендована к печати 16 марта 2016 г.  
А.С. Борисенко*

*Поступила в редакцию  
12 октября 2015 г.*