

Гипотезы, сообщения, дискуссия

УДК 551.89+552.6

МИКРОМЕТЕОРИТЫ ИЗ ВЕРХНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ

© Н.И. Акулов¹, Е.В. Антипин², Л.А. Павлова³

^{1,2}Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

³Институт геохимии имени А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

Проведено исследование позднеплейстоценовых микрометеоритов, выявленных в керне скважины BDP-93-1, пробуренной согласно международной программе исследования истории палеоклимата и тектонической эволюции седиментационного бассейна озера Байкал.

Основная цель настоящего исследования заключалась в изучении высоконикелистых микрометеоритов, впервые выявленных в верхнеплейстоценовых донных отложениях озера Байкал. Представлены результаты изучения микрометеоритов на электронно-зондовом рентгеноспектральном микроанализаторе. Проанализировано 192 пробы, в которых обнаружено 37 микрометеоритов. Установлено, что они имеют крайне неравномерное распространение в составе бугульдейской алеврито-пелитовой толщи. Впервые выявлены микрометеориты с высоким содержанием никеля (до 72,9%) и серебра (до 21,9%). Изучено изменение областей содержания химических элементов в микрометеоритах в зависимости от глубины их нахождения в донных осадках. Получены результаты химических анализов по 24 точкам серебряно-никелистого микрометеорита. Установлено, что серебряно-никелистый микрометеорит содержит в среднем 50,1% никеля, 5,2% серебра и 0,9% железа.

Проведенные исследования никелистых микрометеоритов показали, что их химический состав неоднороден по количественному содержанию одного и того же элемента в различных его точках, но постоянен по основному набору химических элементов (Ni, Ag, Fe, C, O).

Ключевые слова: микрометеорит; никель; верхний плейстоцен; Байкал; Байкальский буровой проект.

MICROMETEORITES FROM LAKE BAIKAL UPPER PLEISTOCENE SEDIMENTS

N.I. Akulov, E.V. Antipin, L.A. Pavlova

Institute of the Earth Crust SB RAS, 128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, 1a Favorsky St., Irkutsk, 664033, Russia.

Late Pleistocene micrometeorites revealed in a core of the BDP-93-1 test hole drilled according to the international research program of the history of palaeoclimate and tectonic evolution of the lake Baikal sedimentation pool have been studied.

The main objective of the present research consists in studying high-nickel micrometeorites which for the first time were revealed in Upper Pleistocene bottom deposits of Lake Baikal. The results of the X-ray electron probe analysis of micrometeorites are presented. 192 samples have been analyzed where 37 micrometeorites were revealed. It is determined that distribution of micrometeorites within the Buguldeika aleurite-pelite formation is quite irregular. For the first time the micrometeorites with high nickel (to 72,92%) and silver (to 21,93%) contents are recognized. The study is given to the changes of chemical element presence areas in micrometeorites depending on the depth of their location in the bottom deposits. Having obtained the results of chemical analyses by 24 points

¹Акулов Николай Иванович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геологии и магматизма древних платформ, тел.: (3952) 510224, e-mail: akulov@crust.irk.ru

Akulov Nikolai, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Principle Researcher of the Laboratory of Geology and Magmatism of Ancient Platforms, tel.: (3952) 510224, e-mail: akulov@crust.irk.ru

²Антипин Егор Владимирович, аспирант лаборатории геологии и магматизма древних платформ, тел.: (3952) 510224, e-mail: egor.antipin2009@yandex.ru

Antipin Egor, Postgraduate of the Laboratory of Geology and Magmatism of Ancient Platforms, tel.: (3952) 510224, e-mail: egor.antipin2009@yandex.ru

³Павлова Людмила Анатольевна, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, тел.: (3952) 429579.

Pavlova Lyudmila, Candidate of Chemistry, Senior Researcher, tel.: (3952) 429579.

of silver-nickel micrometeorite it was found out that silver-nickel micrometeorite contains on the average 50,1% of nickel, 5,2 % of silver and 0,9 % of iron.

Conducted researches of nickel micrometeorites have shown that their chemical composition is heterogeneous by the quantitative content of the same element in different points of a meteorite, while it is constant by the basic set of chemical elements (Ni, Ag, Fe, C, O).

Keywords: micrometeorite; nickel; Upper Pleistocene; Baikal; Baikal Drilling Project.

Введение. По мнению А.А. Маракушева и его коллег [8, 10], метеориты являются обломками примитивных железосиликатных планет, подвергавшихся взрывному распаду с образованием астероидов и более мелких тел и частиц. В метеоритах и микрометеоритах запечатлено формирование не только примитивных хондритовых планет, но и планет земной группы, представляющих более высокую степень дифференциации протозвезд.

Ранее выполненные нами исследования микрометеоритов, извлеченных из разновозрастных донных отложений озера Байкал, показали, что они обладают различным размером, разнообразной морфологией и химическим составом [1–4]. Весьма показательным является их преимущественно железистый состав и редкое присутствие следов никеля. Детальное изучение верхнеплейстоценовых отложений, вскрытых скважиной BDP-93-1, позволило выявить микрометеориты, в составе которых содержится до 72,9% никеля. Археологи утверждают, что человек использовал медно-никелевые сплавы еще во II веке до нашей эры [5, 13]. Известно, что из сплава пактонг, содержащего 32% никеля (остальное – медь, цинк и железо), чеканились древнекитайские монеты во II веке до нашей эры. Кроме того, обнаружены мечи и шпаги, изготовленные из железоникелевого сплава. Они не поддаются коррозии, в них прекрасно сочетается твердость и вязкость. Никто не сомневается в том, что для изготовления этих изделий наши предки использовали метеоритное железо (ферроникель).

Существует легенда о том, что бухарский эмир приказал своим кузнецам отковать ему меч из куска «небесного железа». Но сколько кузнецы ни старались, у них ничего не получилось, и их

казнили. Они погибли из-за того, что нагретый металл становился хрупким и не поддавался ковке. Они не знали об одной из особенностей сплавов железа с никелем, которая заключается в том, что никелистое метеоритное железо куется только в холодном состоянии.

Цель настоящего исследования заключалась в изучении высоконикелистых микрометеоритов, впервые выявленных в верхнеплейстоценовых донных отложениях озера Байкал.

Материал и методика исследований. Материалом для исследований послужил керн из скважины BDP-93-1, пробуренной согласно международной программе исследования истории палеоклимата и тектонической эволюции седиментационного бассейна озера Байкал [12]. Бурение скважины BDP-93-1 на озере Байкал было проведено в 1993 г. в районе Бугульдейской перемычки (рис. 1). По данным Н.А. Логачева [9], озеро Байкал состоит из двух эшелонированно расположенных депрессий: Южного и Северного Байкала. Они разделены диагонально простирающимся подводным Академическим хребтом, который является северо-восточным продолжением блока острова Ольхон. Впадина Южного Байкала, в свою очередь, разделена на два суббассейна поднятием дна на траверсе дельта реки Селенги – устье реки Бугульдейки (Бугульдейская перемычка). С баржи, вмороженной в лед, под 354-метровой толщей пресной воды была пробурена скважина и отобран керн длиной 102 м [12]. На литологический анализ было отобрано 192 пробы. Литологический анализ состоял из исследования гранулометрического состава донных осадков методом отмучивания из навески от 0,6 до 30 г и последующего ее отсева на ситах (> 1,0; 1,0–0,5; 0,5–0,25; 0,25–0,1 и 0,1–0,05 мм).

Методом магнитной сепарации из всех фракций проведено отделение магнитного концентрата, который обычно содержал магнитные сферулы микрометеоритов. Интервалы глубин, на которых обнаружены микрометеориты, отражены в табл. 1. Детальное микронзондовое исследование проведено Л.А. Павловой на электронно-зондовом рентгеноспектральном микроанализаторе JXA8200 (JEOL Ltd, Япония) с помощью волновых и энергодисперсионного спектрометров. Основные методические приемы изучения микрометеоритов на данном приборе описаны в работе [11]. Тем не менее следует напомнить, что микрометеориты, отобранные при минералогическом изучении проб, наклеивали на углеродный скотч. Важно подчеркнуть, что образцы углеродом не напыляли, так как поверхность всех микрометеоритов обладает хорошей электропроводностью. Определение углерода на поверхности образца при использовании приборов, вакуум в которых поддерживается паромасляными насосами, связано с некото-

рыми трудностями. Дополнительные исследования, проведенные нами, показали, что за время измерения на поверхности образцов, не содержащих в своем составе углерод, появляется не более 10 масс. % углерода. В микросферах обнаружено количество углерода от 3,8 до 72,9 масс. %. Таким образом, при определении углерода допускается приборная погрешность 10 масс. %.

Фотографии микрометеоритов выполнены во вторичных и обратнорассеянных электронах. На энергодисперсионном спектрометре снято 284 спектра. Спектры обработаны в автоматическом и ручном режимах. К содержаниям элементов ниже 0,5 масс. % необходимо относиться осторожно, так как они получены на пределе чувствительности прибора. По имеющейся в программном обеспечении прибора программе для обработки спектров расчет содержаний химических элементов проводится с нормированием на 100%. Считается, что регистрируются и идентифицируются все элементы, имеющие рентгеновские спектры.



Рис. 1. Схема расположения скважины BDP-93-1, пройденной в районе Бугульдейской перемычки (Байкальский буровой проект)

**Интервалы отбора проб из керна скважины BDP-93-1,
в составе которых выявлены микрометеориты**

Номер пробы	Интервал отбора, см		Вес пробы, г	Количество микрометеоритов, шт.	Номер микрозондового анализа
	от	до			
11654	450	452	30	12	10
11666	1100	1102	30	5	9
11671	1300	1302	30	2	8
11676	1700	1702	30	3	7
13186	1807	1809	23,6	1	16
13099	5536	5538	0,6	3	22–24
13063	7079	7081	19	1	25
13079	6418	6420	21,5	2	14–15
13050	6884	6887	19,1	1	28
13058	7529	7531	30	1	21
13082	8045	8047	15,4	2	26–27
13083	8400	8402	8,5	1	20
13084	8752	8754	8,8	3	17–19
12952	9021	9023	16	2	29–30

Результаты исследований и об- суждение. Скважина BDP-93-1 расположена в зоне конуса выноса реки Бугульдейки, которая дренирует как докембрийские, так и нижнепалеозойские и кайнозойские провинции питания терригенным материалом (рис. 2). Провинции питания представляют собой независимые морфоструктуры, разделенные зо-

нами разломов. В общей сложности бассейн реки дренирует протокластические гранитоиды и граносиениты приморского комплекса, метаморфически измененные породы (доломиты, известняки, кварцитовидные песчаники, глинистые сланцы, мраморы, конгломераты и гравелиты) голоустинской и ушаковской свит, а также рыхлые отложения кайнозойского комплекса.



Рис. 2. Панорамный вид устья реки Бугульдейки, в конусе выноса которой, на удалении 10 км от береговой полосы озера Байкал, расположена скважина BDP-93-1 (снимок А.И. Мельникова, сделан с вертолета)

По данным литологических анализов керн из скважины BDP-93-1 установлено, что вскрытая ею бугульдейская толща имеет преимущественно смешанный алеврито-глинистый состав с незначительным количеством чистых алевритов и глин, а также линз и прослоев песка [1, 6, 7] (рис. 3). Существенную роль в вещественном составе осадков играют диатомовые илы, которые отражают специфические условия осадконакопления – периоды замедленного поступления и осаждения обломочного материала. Именно поэтому литологический разрез бугульдейской толщи имеет ритмичное строение, каждый ее ритм состоит из чередования песчано-алевритового и алевритового материала с высоким содержанием диатомовых створок и глинистого, алеврито-глинистого осадка с низким содержанием диатомовых водорослей. Верхняя, пятиметровая часть вскрытого

разреза относится к голоценовым образованиям, а оставшаяся его часть сопоставляется с верхнеплейстоценовыми отложениями [12].

Гранулометрический анализ осадков показал, что глинистая фракция в породах занимает от 80 до 87% общего объема этих отложений, а оставшаяся часть представлена алевритами и песками, при этом количество песчаной фракции редко превышает 3%. Глинистые минералы состоят из гидрослюд (40–62%), смектита (30–45%), каолинита и хлорита (3–10%) [6].

В составе минералов легкой фракции встречены кварц (до 68%), плагиоклазы (до 20%), калиевые полевые шпаты (до 7%), слюды (до 11%), хлорит (до 4,5%), графит и вивианит (до 3%). Общий вес минералов тяжелой фракции, среди которых обнаружены микрометеориты, весьма незначителен и изменяется

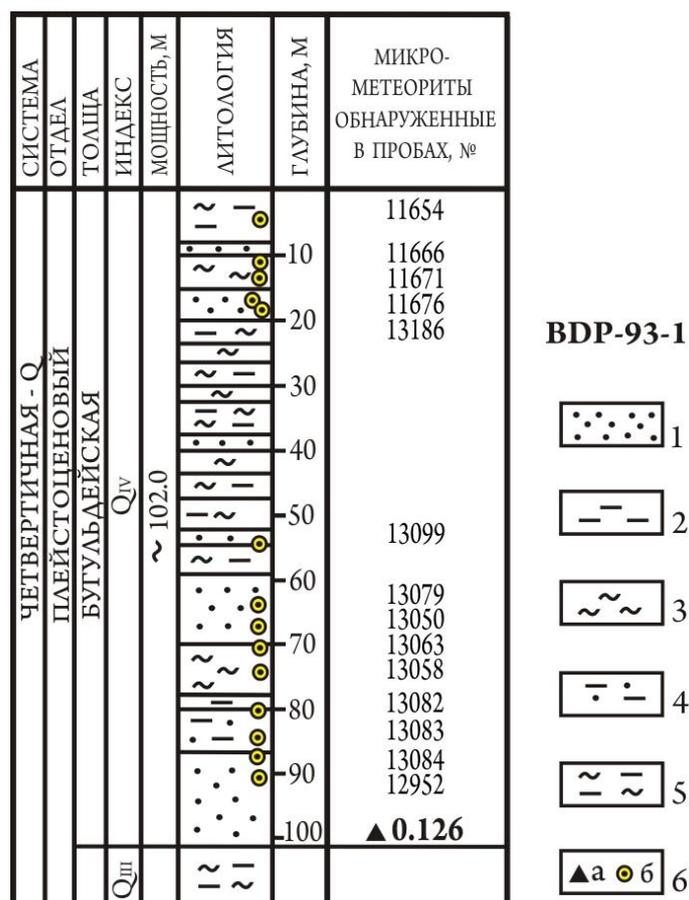


Рис. 3. Литолого-стратиграфический разрез верхнеплейстоценовых отложений озера Байкал с указанием мест сосредоточения микрометеоритов:

1 – пески; 2 – алевриты; 3 – глины; 4 – песчанистые алевриты; 5 – алевритистые глины; 6 – возраст отложений в основании толщи, млн лет (а), места обнаружения микрометеоритов (б)

от 15 до 77000 г/т. Их наиболее высокое содержание приурочено к прослоям песков, выявленных на глубине 39,6 и 66,1 м. Амфиболы, пироксены и эпидот являются основными представителями тяжелой фракции, суммарное количество которых достигает 73%. Наряду с этим в осадках отмечены такие сравнительно редко встречаемые минералы, как силлиманит, дистен, шпинель, анатаз, циртолит, монацит, флюорит и малакон. Кроме того, в составе вскрытых пород часто присутствуют ильменит, магнетит, гранаты, сфен, циркон, апатит и микрометеориты. Число микрометеоритов,

обнаруженное в пробах, показано в табл. 1. Почти все микрометеориты за исключением их обломков представляют собой сфероиды. Внешний вид сфероидов отражен на фотографиях (рис. 4). Микрометеориты обладают металлическим блеском и магнитностью. По данным микрозондового анализа они неоднородны по составу (табл. 2). В химическом составе микрометеоритов господствует железо и углерод. Исключение представляют микрометеориты из центральной части разреза, в которых господствует никель, количество которого достигает 72,9 масс. % (рис. 5).

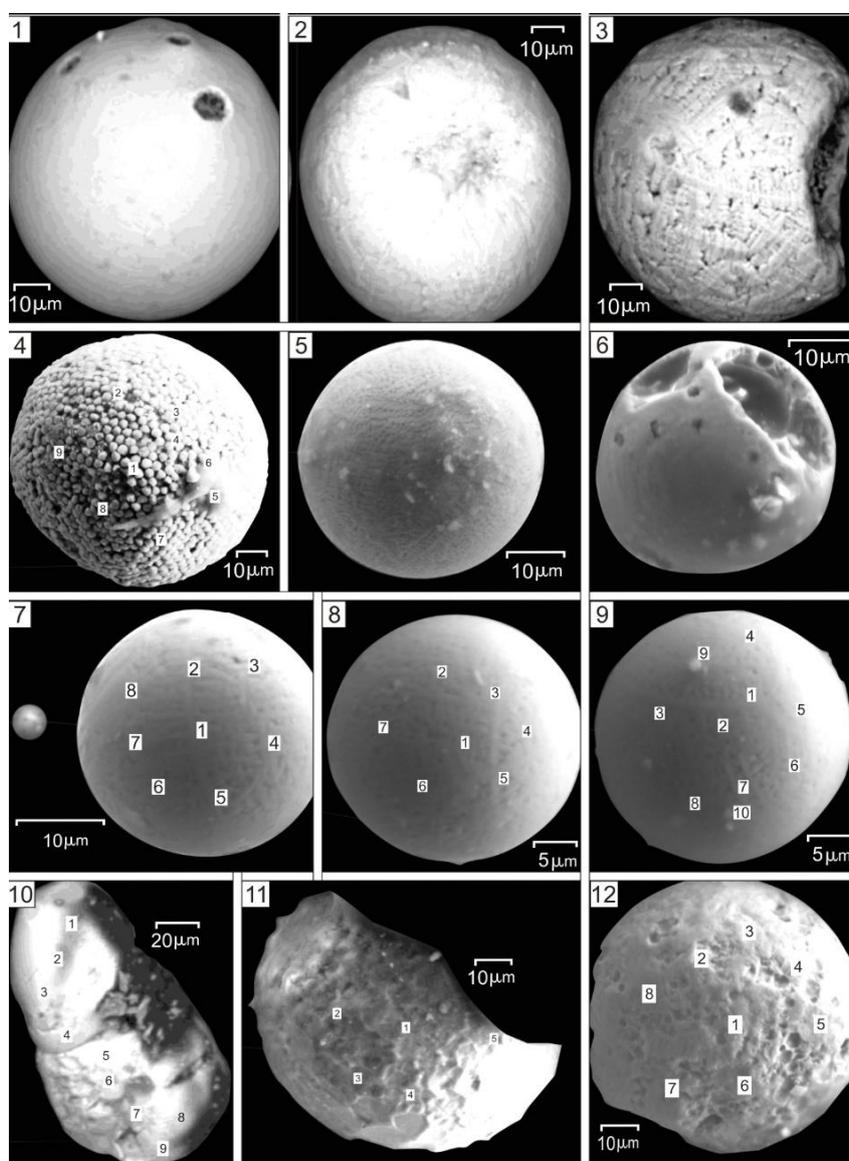


Рис. 4. Микрометеориты из отложений бугульдейской толщи, обнаруженные в керне скважины BDP-93-1 (сверху вниз по разрезу скважины):
 1–12 – микрометеориты, извлеченные из следующих проб: 1 – 11666; 2 – 11671; 3 – 11676; 4 – 13186; 5–7 – 13099; 8 – 13082; 9 – 13083; 10–12 – 13084

Таблица 2

Химический состав исследуемых микрометеоритов в пробах, масс. %

Номер пробы	Содержание химических элементов	Fe	Ni	Zn	Ag	C	O	Ca	Si	Mn	Al	Na
		11654	min	4,4	–	–	–	–	3,4	–	–	–
	max	96,3	–	–	–	71,4	22,0	0,5	1,5	–	1,9	1,1
13079	min	55,2	–	–	–	4,9	3,4	–	–	–	–	–
	max	71,9	–	–	–	37,6	29,9	–	0,4	–	–	–
13186	min	27,6	–	–	–	9,0	12,0	–	–	–	–	–
	max	62,9	–	2,4	–	35,6	36,6	0,6	0,8	0,5	0,3	0,3
13084	min	35,1	–	1,4	–	20,5	26,4	–	–	–	–	–
	max	46,7	–	3,8	–	33,3	35,7	0,5	0,7	0,3	–	–
13083	min	26,1	–	–	–	7,2	2,5	–	–	–	–	–
	max	67,3	–	0,4	–	55,5	36,7	0,8	2,1	0,4	2,4	1,2
13058	min	–	–	–	–	–	1,6	–	–	–	–	–
	max	70,2	72,9	–	21,9	90,4	36,0	7,9	0,8	0,6	0,6	0,4
13099	min	57,2	–	–	–	3,8	15,5	–	–	–	–	–
	max	65,9	–	–	–	18,0	36,3	–	0,2	0,5	0,2	–
13063	min	45,1	–	–	–	7,1	–	–	–	–	–	–
	max	92,0	–	1,1	–	45,1	8,0	1,1	0,2	0,9	0,08	0,5
13082	min	46,6	–	–	–	14,1	1,4	–	–	–	–	–
	max	84,4	–	0,7	–	27,5	22,7	–	0,4	5,9	0,2	0,6
13050	min	49,7	–	–	–	–	13,6	–	–	–	–	–
	max	72,3	–	–	–	22,5	38,5	–	0,2	0,5	–	–
12952	min	27,9	–	–	–	5,2	15,9	10,9	1,6	–	2,2	–
	max	38,6	–	–	–	18,3	40,0	23,6	3,4	0,4	4,1	–
Номер пробы	Содержание химических элементов	Na	Ti	Mg	S	P	Cr	Mo	K	Cl	Cu	
		11654	min	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	max	1,1	–	–	0,9	0,49	–	–	0,5	0,3	31,6	
13079	min	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	max	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
13186	min	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	max	0,3	–	–	16,8	0,2	–	8,7	–	–	–	
13084	min	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	max	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
13083	min	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	max	1,2	6,5	2,5	–	–	–	–	0,4	0,2	–	
13058	min	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	max	0,4	0,2	1,5	1,9	–	0,4	–	0,3	0,3	–	
13099	min	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	max	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
13063	min	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	max	0,5	–	0,1	–	–	–	–	–	–	–	
13082	min	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	max	0,6	–	0,1	–	–	0,3	–	–	–	–	
13050	min	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	max	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
12952	min	–	–	1,1	0,5	–	–	–	–	–	–	
	max	–	–	4,5	0,8	–	–	–	–	–	–	

Примечание. По каждому микрометеориту проведен химический анализ в нескольких точках (от 5 до 10 точек, см. рис. 4). В таблице приведены максимальные и минимальные значения этих элементопределений. Прочерк означает, что данный элемент не обнаружен.

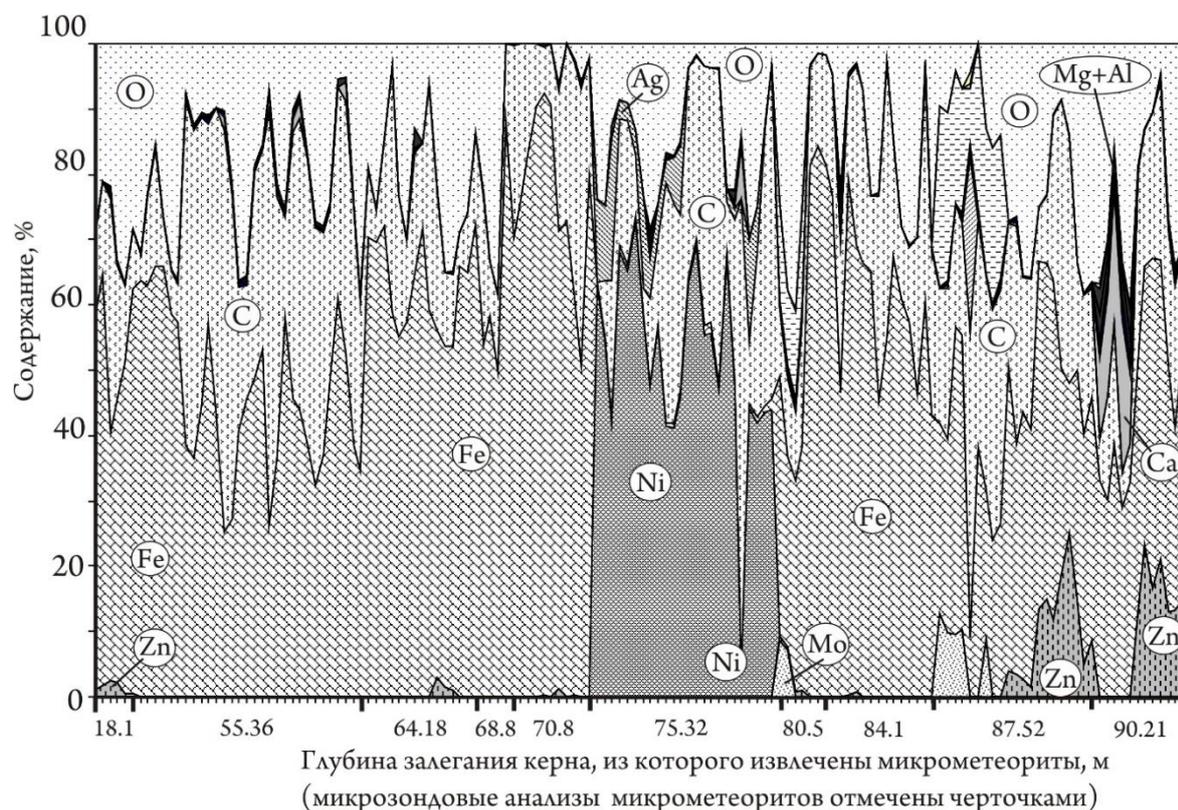


Рис. 5. Изменение областей содержания химических элементов в микрометеоритах в зависимости от глубины их нахождения в донных осадках

Железные метеориты почти целиком состоят из камасита, который раскристаллизовался в космическом пространстве из железистого расплава α -фазы плавления. В виде включений и примесей в их составе отмечены небольшие количества железа δ - и γ -фаз плавления. При этом камасит обычно содержит до 7% никеля. Большой интерес представляет микрометеорит № 21 из пробы 13058, почти целиком состоящий из тэнита (табл. 3, рис. 6). Тэнит образовался при сплавлении большого количества никеля (30–50%) с незначительным количеством железа γ -фазы. Отмечено, что в камасите отношение никеля к железу не превышает 0,1, а в тэните оно колеблется от 5,2 до 153,7. При травлении кислотой полированной поверхности метеорного железа выделяются особые, решетковидные структуры, так называемые видманштеттеновы фигуры, которые появляются вследствие разного отражения тэнита и камасита.

Количество сплавов никеля с раз-

личными металлами, полученное с помощью современных металлургических технологий, уже сейчас достигает нескольких тысяч. Проведенные исследования никелистых микрометеоритов показали, что в природных условиях космоса количество подобных сплавов многократно больше. Не удивительно, что химический состав даже отдельно взятого микрометеорита неоднороден по количественному содержанию одного и того же элемента в различных его точках (см. табл. 3), но постоянен по основному набору химических элементов (Ni, Ag, Fe, C, O). По всей видимости, это связано с продолжительностью кристаллизации, происходившей в микрометеоритах в период их формирования. Мы полагаем, чем короче интервал времени их кристаллизации, тем стабильней химический состав образующихся микросфер. Необходимо подчеркнуть, что все известные в современной металлургии сплавы серебра с никелем очень трудноплавкие, поэтому редко применяются.

Таблица 3

Результаты химических анализов, полученных по 24 точкам (t_1-t_{24})
микрометеорита № 21, извлеченного из пробы № 13058 (см. рис. 6), масс. %

	Fe	Ni	Ag	C	O	Ca	Si	Al	Mg	S	Σ
t_1	0,4	63,0	12,7	–	23,9	–	–	–	–	–	100,0
t_2	0,6	54,2	11,5	9,0	24,7	–	–	–	–	–	100,0
t_3	0,5	42,0	21,9	21,3	12,5	–	–	–	–	1,9	100,1
t_4	1,1	68,1	2,8	19,3	8,5	–	0,2	–	–	–	100,0
t_5	0,9	65,2	2,7	22,1	9,1	–	–	–	–	–	100,0
t_6	0,7	72,9	3,7	9,3	13,3	–	–	–	–	–	99,9
t_7	0,4	57,9	13,9	4,3	23,5	–	–	–	–	–	100,0
t_8	0,2	47,5	6,3	13,3	28,4	1,3	0,8	0,6	1,3	–	99,7
t_9	0,1	56,7	5,4	13,4	24,5	–	–	–	–	–	100,1
t_{10}	0,5	41,4	3,3	36,9	16,8	–	0,5	0,4	0,2	–	100,0
t_{11}	0,7	41,2	7,1	33,6	17,1	–	0,2	0,2	–	–	100,1
t_{12}	0,9	45,9	10,6	27,1	14,9	–	0,2	–	–	0,5	100,1
t_{13}	1,1	63,2	–	32,2	3,6	–	–	–	–	–	100,1
t_{14}	1,2	69,0	–	27,9	1,7	–	0,2	–	–	–	100,0
t_{15}	1,5	55,4	–	39,7	3,5	–	–	–	–	–	100,1
t_{16}	1,6	55,7	–	39,0	3,7	–	0,1	–	–	–	100,1
t_{17}	0,7	47,0	–	48,4	3,6	–	0,1	0,1	–	–	99,9
t_{18}	0,8	67,2	1,9	7,8	22,4	–	–	–	–	–	100,1
t_{19}	0,7	47,3	1,8	25,0	22,3	0,5	0,3	0,3	1,5	0,1	99,8
t_{20}	0,7	44,2	15,8	9,5	29,8	–	–	–	–	–	100,0
t_{21}	0,9	42,0	7,1	25,1	24,9	–	–	–	–	–	100,0
t_{22}	1,0	43,5	0,4	42,8	12,2	–	–	–	–	–	99,9
t_{23}	1,6	43,9	–	51,1	3,4	–	–	–	–	–	100,0
t_{24}	2,9	15,1	–	72,6	9,4	–	–	–	–	–	100,0

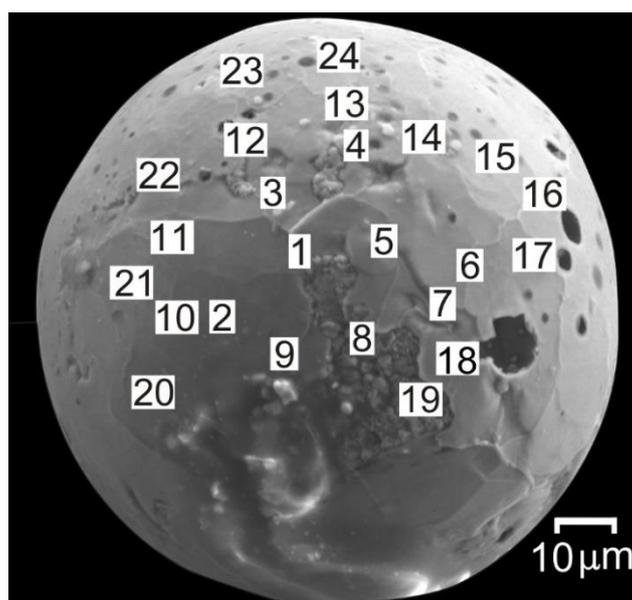


Рис. 6. Серебряно-никелистый микрометеорит содержит в среднем 50,1% никеля, 5,2% серебра и 0,9% железа. Цифрами показаны точки, в которых проведен химический микроанализ (см. табл. 3)

Вполне очевидно, что микрометеориты – это важнейший источник информации о прошлом, настоящем и будущем нашей планетной системы и других миров.

Выводы. Микрометеориты неоднородны по количественному содержанию входящих в их состав в различных их точках химических элементов, но постоянны по набору микрометеоритообразующих элементов (например, Ni, Ag, Fe, C, O).

Авторы благодарны коллективу проекта «Байкал-бурение» и его руководителю академику М.И. Кузьмину за предоставленную возможность работы с керновым материалом по скважине BDP-93-1.

Библиографический список

1. Акулов Н.И., Мащук И.М., Акулова В.В. Плейстоценовые отложения озера Байкал: вещественный состав и стратиграфическая корреляция // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2015. № 1 (23). С. 1–21.
2. Акулов Н.И., Павлова Л.А. Микрометеориты из озера Байкал // Современные проблемы геологии. 2012. Т. 1. С. 103–104.
3. Акулов Н.И., Павлова Л.А., Антипин Е.В. Геохимические особенности микрометеоритов в донных отложениях озера Байкал // ДАН России. 2014. № 6 (454). С. 695–700.
4. Антипин Е.В., Акулов Н.И. Морфология плейстоценовых микрометеоритов из озера Байкал и некоторые элементы их строения // Строение литосферы и геодинамика: материалы XXV Всерос. молодежн. конф. (Иркутск, 23–28 апреля 2013 г.). Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2013. С. 9–10.
5. Дикшит С.К. Введение в археологию. М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. 506 с.
6. Кашик С.А., Ломоносова Т.К., Филева Т.С. Генетические типы глинистых минералов в донных отложениях Южной котловины озера Байкал // Геология и геофизика. 2001. № 1–2 (42). С. 164–174.
7. Кашик С.А., Мазиллов В.Н. Литология четвертичных отложений в разрезе глубокой скважины в акватории озера Байкал // Литология и полезные ископаемые. 1997. № 5. С. 484–491.
8. Космическая петрология / А.А. Маракушев, Л.Б. Грановский, Н.Г. Зиновьева [и др.]. М.: Наука. 2003. 387 с.
9. Логачев Н.А. Главные структурные черты и геодинамика Байкальской рифтовой зоны // Физическая механика. 1999. Т. 2. № 1–2. С. 163–170.
10. Маракушев А.А., Безмен Н.И. Эволюция метеоритного вещества планет и магматических серий. М.: Наука, 1983. 184 с.
11. Павлова Л.А., Акулов Н.И. Особенности исследования микрометеоритов из Байкала в режиме электронного микроскопа на микроанализаторе JXA 8200 // XVIII Рос. симпозиум по растровой электрон. микроскопии и аналитическим методам исследования твердых тел. Черноголовка, 2013. С. 396–397.
12. Результаты бурения первой скважины на озере Байкал в районе Бугульдейской перемычки / Д. Вильямс, М. Грачев, Т. Каваи [и др.] // Геология и геофизика. 1995. № 2 (36). С. 3–32.
13. Рипан Р., Четяну И. Неорганическая химия: учебник / пер. с румынского. М.: Мир, 1972. Т. 2. Химия металлов. 871 с.

Статья поступила 25.06.2015 г.