

УДК 551.311.5+551.732 (574)

О.А. КОРЧАГИН, В.А. ЦЕЛЬМОВИЧ, С.В. ДУБИНИНА

МЕТЕОРИТНЫЕ МИКРОСФЕРЫ И ЧАСТИЦЫ ИЗ ГЛУБОКОВОДНЫХ ИЗВЕСТНЯКОВ ВЕРХНЕГО КЕМБРИЯ (БАТЫРБАЙ, ЮЖНЫЙ КАЗАХСТАН)

Приведено описание микросфер и частиц, состоящих из металлического Fe с примесью Ni, Mn, но без примеси Ti, обнаруженных в прослое глубоководных известняков, принадлежащих зоне *Cordylodus primitivus* конодонтовой шкалы средней части верхнего кембрия в разрезе Батырбай (Южный Казахстан). Некоторые из микросфер (размер от 2 до 15 м) внутри полые, с рельефной текстурой поверхности, сходной с таковой микросфер железа, обнаруженных в современных метеоритных кратерах и переходном слое глин между мелом и палеогеном. Изученные микросферы и частицы металлического железа свидетельствуют о падении на Землю метеорита в середине позднего кембрия.

Металлические микросферы и частицы чрезвычайно широко распространены в ископаемых и современных отложениях и образованиях различных возрастов и генезиса. Большой части микросфер и частиц свойственно внеземное (космическое) происхождение [9—10, 12, 15—19, 22—24, 27—31, 34—36, 39, 41—44], известны многочисленные данные о металлических микросферах и частицах вулканогенной природы, а также связанных с процессами метаморфизма или с жизнедеятельностью бактерий.

В древних толщах металлические микросферы и частицы внеземного происхождения обычно встречаются в большом количестве в тонких прослоях морских глубоководных глин, мелководных известняков, песчаников и брекчий. Микросферы и частицы часто рассеяны в солях, а также приурочены к древним метеоритным кратерам в океанах и на материках [7, 17, 19, 24, 26—28, 34—37]. В современных и четвертичных отложениях и образованиях такие микросферы описаны из глубоководных океанических осадков, марганцевых конкреций, льдов Гренландии и Антарктиды, песков пляжей и пустынь, метеоритных кратеров [9, 10, 12, 15, 16, 22, 23, 29—31, 36, 39, 41—44].

Металлические микросферы и частицы внеземного происхождения встречены в докембрии [26], в нижнем кембрии, нижнем ордовике, нижнем силуре, миссисипии, верхнем эоцене. Особенно много их отмечено вблизи границ крупных стратиграфических подразделений — франа—фамена, перми—триаса, юры—мела и мела—палеогена.

По существующим представлениям, концентрация этих образований различна на разных стратиграфических уровнях в пределах миссисипия—палеогена [34], и аномально высока вблизи границ перми—триаса и триаса—юры. Большое содержание подобных микросфер от-

мечено вблизи границы мела—палеогена. В последние годы по мере изучения состава и распределения микросфер и частиц внеземного происхождения по разрезу с ними стали связывать перспективы широкой стратиграфической корреляции [26, 36]. С этим, однако, трудно согласиться, учитывая, что их высокие концентрации в осадочных породах могут быть обусловлены самыми разными причинами: усилением поступления космического и метеоритного вещества, активизацией вулканизма, замедлением осадконакопления, перемывом осадков и т. д. Приуроченность находок микросфер и частиц именно к стратиграфическим границам может быть и следствием лучшей изученности пограничных интервалов разреза.

На основе изучения химического состава, морфологии, внутреннего строения и текстуры поверхности микросфер и частиц главным образом из современных и четвертичных отложений и других объектов, где встречаются подобные микросферы, складывается представление об их происхождении и условиях образования. Металлические микросферы и частицы могут состоять из чистого железа или чистого никеля, или железо-никелевого сплава с примесью других металлов, в основном кобальта, хрома и группы платины.

В зависимости от происхождения различают частицы космической пыли и связанные с падением метеоритов. Частицы космической пыли характеризуются небольшим размером, они рассеяны в космическом пространстве и оседают на Землю из космоса. Частицы и микросферы метеоритного происхождения возникают в результате частичного разрушения и испарения метеоритов в атмосфере Земли и при их ударе о земную поверхность. Среди микросфер и частиц метеоритного происхождения различают метеоритные железо и пыль,

микроимпактиты (частицы, образовавшиеся в результате удара) [12, 36].

Однако, несмотря на продолжительное изучение металлических микросфер и частиц, выработка критериев, по которым можно установить происхождение, далека от завершения [12, 15, 39, 41].

Есть основание считать, что частицы и микросферы внеземного происхождения, в отличие от микросфер и частиц вулканогенной природы, не содержат примеси титана [41]. Установлено, что частицы железа космической пыли включают примесь никеля, тогда как микросферы и частицы метеоритного происхождения сложены железом, и примесь никеля в них мала [41]. Допускается, что в частицах внеземного происхождения, сложенных сплавом железа и никеля, при проникновении их в атмосферу, внешняя оболочка может обогащаться железом, а внутреннее ядро никелем [15]. Судя по находкам микросфер из чистого никеля, спаянных с кристаллами алмазов из переходного слоя между мелом и палеогеном, видимо, существует и другой механизм их образования [27].

Выявлено, что микросферам и частицам железа, образовавшимся при разрушении метеорита и его испарении в атмосфере Земли, относимым к категории метеоритной пыли, свойственна рельефная текстурная поверхность [12, 36, 39, 41].

Авторы приводят описание микросфер и частиц железа метеоритного происхождения, обнаруженных в глубоководных известняках верхнего кембрия (зона *Cordylodus primitivus* конодонтовой шкалы) Южного Казахстана. Эти находки могут свидетельствовать о падении на Землю метеорита в середине позднего кембрия, что ранее никем не отмечалось.

Материалы и геологические данные

В основу наших заключений положены результаты повторного изучения материалов из пограничных отложений кембрия—ордовика в разрезе Батырбай (Южный Казахстан), отобранных С.В. Дубининой в 1988—1991 гг. во время детальных литолого-палеонтологических исследований. Авторы использовали опубликованные данные по литологическому составу пород, распределению макрофаунистических остатков и конодонтов в этом разрезе, обоснованию возраста и детальному стратиграфическому расчленению отложений, а также содержанию изотопов углерода и кислорода [18, 33].

Разрез Батырбай расположен на северо-восточном склоне хребта Малый Каратау на юге Казахстана (рис. 1). Этот разрез считается одним из наиболее стратиграфически полных и хорошо изученных в верхнем кембрии и нижнем ордовике России, стран Центральной Азии и Казахстана. Разрез является стратотипом батырбайского яруса — самого верхнего яруса кембрия, официально используемого в России, Казахстане и сопредельных территориях [8]. На основе изучения этого разреза разработана зональная конодонтовая шкала — эталонная для верхнего кембрия и нижнего ордовика Казахстана и сопредельных территорий [4].

Пограничные отложения кембрия—ордовика в рассматриваемом разрезе представлены карбонатными породами, преимущественно обломочными известняками: кальцирудитами, калькаренитами и кальцисилтитами, часто

с градиционной слоистостью; присутствуют прослои известняковых брекчий и доломитов [1].

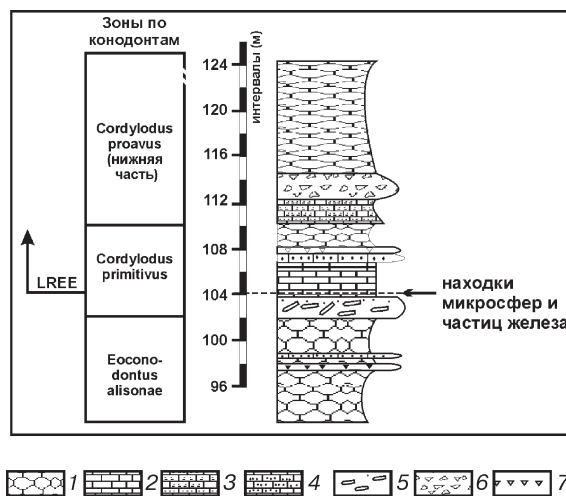


Рис. 1. Местоположение и строение верхнекембрийской части пограничных отложений кембрия и ордовика разреза Батырбай (Южный Казахстан): 1 — тонкоплитчатые волнисто-слоистые мелкозернистые калькарениты, 2 — тонко- и среднеплитчатые известняки с микроградиционной слоистостью, 3 — калькарениты с градиционной слоистостью, 4 — калькарениты, 5 — плоскообломочные брекчии известняков, 6 — брекчии известняков, 7 — известняки с фенестральной текстурой «птичьих глазки»; LREE — эвстатическое событие «Лэнк Рэнч»

Согласно сложившимся представлениям, осадконакопление пограничных отложений кембрия—ордовика проходило на своде обширной подводной возвышенности, удаленной от областей континентального сноса [6, 18]. Предполагается, что в позднем кембрии эта возвышенность располагалась в низких широтах южного полушария.

Напомним, что вблизи кембрийско-ордовикской границы произошло резкое кратковременное колебание уровня Мирового океана, известное как эвстатическое событие «Лэнк Рэнч» [32, 33]. Его следы по уточненным (на примере разреза Батырбай) данным, зафиксированы в слоях, отвечающих средней и верхней части зоны *Cordylodus primitivus* конодонтовой шкалы (интервал 104—109 м) батырбайского яруса верхнего кембрия [3—6]. В кровле этой зоны (отметка 109 м разреза) ранее проводилась граница кембрия и ордовика [14, 20]. Сейчас она смещена выше по разрезу (по появлению *I. fluctivagus*), следовательно, это эвстатическое событие датируется серединой позднего кембрия.

Ниже приведено краткое описание части разреза Батырбай, отнесенной к зоне *Cordylodus primitivus*. Оно дается в соответствии с ранее принятым описанием разреза [1, 4, 6] с небольшими изменениями.

Верхний кембрий, батырбайский ярус, средняя часть, зона *Cordylodus primitivus* (установлена в интервале разреза от 101,8 до 109 м) [4].

Слой 1 (101,8—102,0 м) сложен темно-серыми волнисто-слоистыми и комковатыми мелкозернистыми калькаренитами. На отметке 102 м встречены остатки трилобитов, как правило, значительно перебитых: *Saukiella elegans*, *Haniwa mucronata*, *Lotagnostus hedini*, *Machairagnostus orbiculus*, *Niobella homphrai kazakhstanense*, эуконодонты: *Cordylodus primitivus*, *Eoconodontus alisonae*, *E. notchpeakensis*, *Cambrooistodus minutus*, *Proconodontus*

muelleri, Teridontus nakamurai, многочисленные прото- и параконодонты.

Слой 2 (102,0—103,8 м) образован массивной плоско-обломочной брекчией известняков с зернистым карбонатным матриксом. Крупные обломки сложены главным образом кальцисилтатами. Мелкий обломочный материал, образующий матрикс, представлен хорошо окатанными несортированными обломками калькаренитов и эпифитоновых известняков. В верхней части брекчия постепенно переходит в светло-серые тонкослоистые кальцилутиты без фауны.

Слой 3 (103,8—104 м) представлен черными кальцисилтатами с микроградационной слоистостью. Эти отложения интерпретируются как наиболее глубоководные (1000 м) в разрезе [6]. На отметке 103,8 м обнаружены самые древние хитинозой *Desmochitina antique*. На отметке 104 м собраны (in situ) редкие, но чрезвычайно хорошей сохранности панцири трилобитов: *Lotagnostus hedini*, *Machairagnostus orbiculus*, *Niobella homphrai kazakhstanense*, прото-, параконодонты, редкие эуконодонты: *Teridontus nakamurai*, *Cordylodus primitivus*, *Eoconodontus alisonae*, *E. notchpeakensis*, а также беззамковые брахиоподы и дендроидные граптолиты. Именно с этим уровнем связывается основание трилобитовой зоны *Lotagnostus hedini*, широко географически распространенное. Примечательно, что описанный слой известняка вполне может использоваться в качестве маркирующего, поскольку он весьма отчетливо выделяется из толщи отложений верхнего кембрия—нижнего ордовика разреза Батырбай и не имеет аналогов ни в ниже-, ни в вышележащих отложениях.

Слой 4 (104—107 м) сложен темно-серыми тонко- и среднеплитчатыми мелкозернистыми калькаренитами и кальцисилтатами с микроградационной слоистостью. На отметках 105 и 106 м встречен комплекс трилобитов, аналогичный таковому с отметки 104 м. Трилобиты здесь также редкие, но очень хорошей сохранности. Панцири трилобитов часто целые. На отметках 105 и 105,5 м найдены эуконодонты: *Teridontus nakamurai*, *Cordylodus primitivus*, *E. notchpeakensis*, прото- и параконодонты. По уточненным на основании изучения конодонтовых комплексов [3, 5] данным, начало регрессивной фазы события «Лэнк Рэнч», ранее связываемое с основанием зоны *Cordylodus proavus* [32, 33], приурочено к середине зоны *Cordylodus primitivus* (отметка 104,0 м).

Слой 5 (107,0—107,5 м) представлен известняками с феностральной текстурой («птичьи глазки») — признаком крайнего мелководья [6].

Слой 6 (107,5—108,4 м) — брекчия известняков с хаотическим распределением обломков округлой и неправильной форм.

Слой 7 (интервал 108,4—109,0 м) — волнисто-слоистые кальцисилтиты с линзовидными прослоями мелкозернистых калькаренитов.

Исходя из описания части разреза Батырбай, относящейся к зоне *Cordylodus primitivus*, следует отметить его уникальность. Это, действительно, единственный в мире разрез, где сохранилась начальная (регрессивная) фаза события «Лэнк Рэнч» (интервал 104,0—107,5 м) (рис. 1) [5]. В других разрезах мира регрессивная фаза события отсутствует или из-за перерывов в осадконакоплении мелководных эпиконтинентальных бассейнов, или из-за эрозионных процессов на континентальных склонах открытых океанических бассейнов [20].

Методика изучения и результаты

Проанализированы навески известняков (50 г) из образцов, отобранных с интервалом 0,5 м, согласно методике [11]. Порода измельчалась в яшмовой ступке, затем диспергировалась в ультразвуковой ванне. Из полученной тонкодисперсной массы при помощи мощного ручного магнита (на основе сплава Nb-B-Fe) выделялись металлические частицы, которые сортировались в отраженном свете с помощью оптического микроскопа «Olympus VX51», затем протравливались в разбавленной уксусной кислоте (3 %) и вновь изучались под микроскопом. Наиболее интересные образцы помещались на липкую токопроводящую углеродную пленку и изучались на электронно-зондовом микроанализаторе «Camebax». Исследовались морфология выделенных металлических частиц и микросфер, а также химический состав и текстура их поверхности.

Металлические микросферы и частицы обнаружены в верхней части прослоя известняка с градационной слоистостью, т. е. на отметке 104 м. Они состоят практически из чистого железа с примесью (до 1 %) других металлов (рис. 2). В отдельных микросферах встречены примеси Ni (в пределах 1—2 %) и Mn (до 1 %), примеси Ti, Al, Cr, Si не обнаружены. Подчеркнем, что прослой известняка (интервал 103,8—104 м), залегающий на пачке известняковой брекчии (интервал 102—103,8 м) формировался, как считается, на большой глубине (до 1000 м) [6], предшествуя регрессивной фазе события «Лэнк Рэнч» [3].

Микросферам железа присущи размеры от 2 до 15 м (рис. 2, 1a-d). Встречены полые микросферы с небольшими округлыми отверстиями (рис. 2, 1a-b). Также отмечены микросферы без отверстий (рис. 2, 1c-d). Текстура поверхности микросфер как бугристая сетчатая (рис. 2, 1a-c), так и гладкая (рис. 2, 1d).

Частицы железа (обычно оплавленные) характеризуются изометричной формой (около 50—70 м) (рис. 2, 2b). Они могут быть также удлинёнными (около 10—60 м) изогнутыми пластинами с редкими продольными бороздками (рис. 2, 1a, 2a). Реже встречаются более крупные удлинённо-изометричные частицы железа с остроугольными краями, длиной до 500 м (рис. 2, 2c-e).

Микросфер и частиц железа немного, они однотипны по химическому составу и обладают низкой морфологической дифференциацией обломков (рис. 2, 1-2). Так, в верхнем кембрии разнообразие форм на порядок ниже, чем на границе мела—палеогена [27].

Вместе с микросферами и частицами железа в известняках (обр. 104 м) в верхнем кембрии разреза Батырбай установлены остроугольные зерна гематита и единичные зерна титаномагнетита (рис. 2, 3-4).

Обнаруженные микросферы железа с бугристой сетчатой поверхностью близки к микросферам из спекшегося тонкодисперсного магнетита, которые найдены в плейстоцен-голоценовых отложениях метеоритного кратера Мораска (Польша) [39], и практически идентичны некоторым микросферам железа, встреченным в переходном слое между мелом и палеогеном в разрезе Гамс (Восточные Альпы) [2, 27]. Подобные микросферы весьма близки к таковым с текстурной поверхностью, описанным в [34]. Частицы железа с оплавленными краями, обнаруженные в разрезе Батырбай, по размерам и форме схожи с частица-

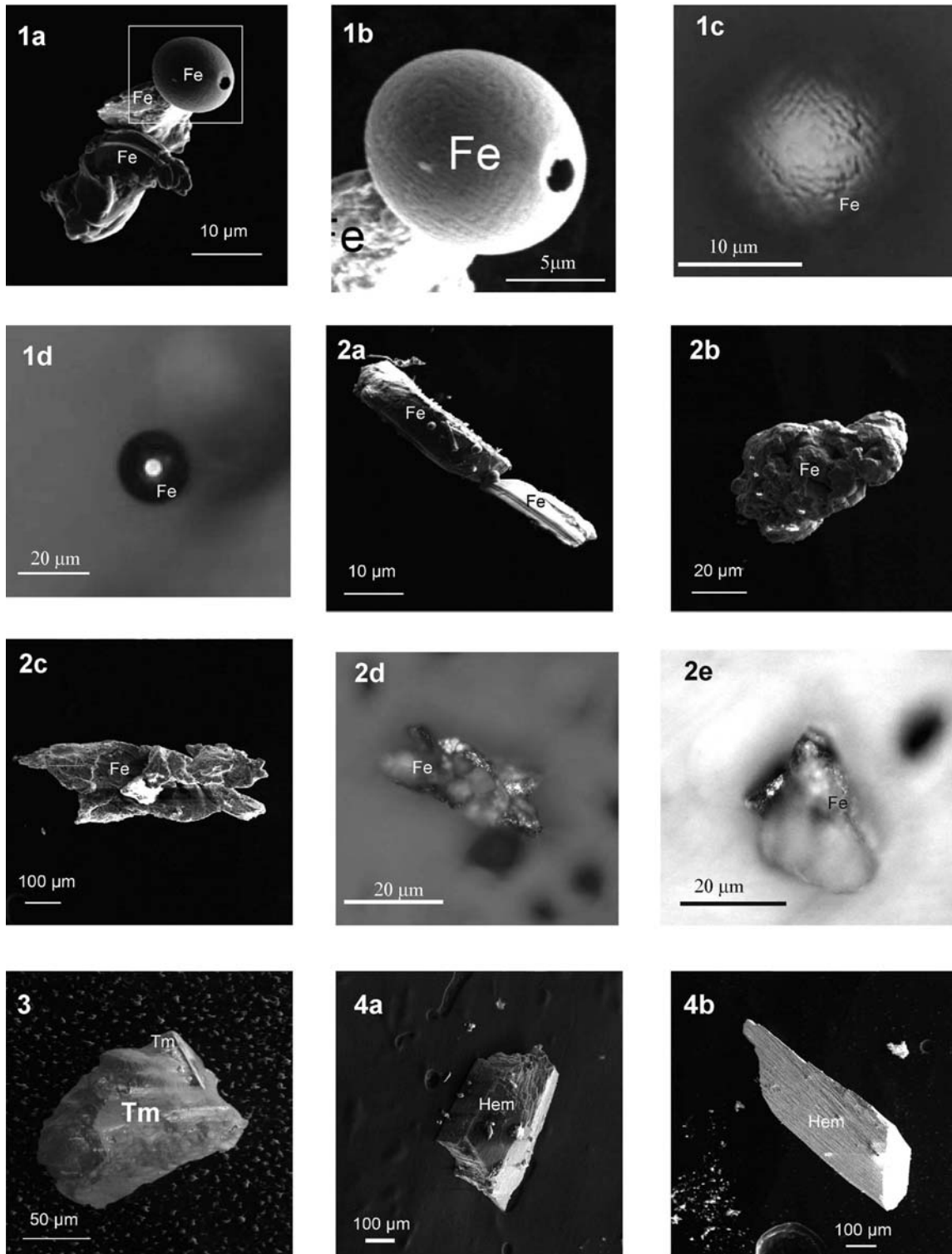


Рис. 2. Микросферы, частицы железа и минералы из известняков зоны *Cordylodus primitivus* (обр. 104 м) разреза Батырбай: *1a* – слипшиеся (при магнитной сепарации) дугообразно-изогнутые частицы железа (возможно, фрагмент скорлупы крупной микросферы), изометричная частица железа и полая микросфера железа с сетчатой текстурой поверхности и отверстием; *1b* – увеличенное изображение полой микросферы железа с текстурной сетчатой поверхностью и отверстием; *1c* – микросфера железа с текстурной сетчатой поверхностью; *1d* – микросфера железа с гладкой поверхностью; *2a* – пластина железа с продольными борозками и налипшими микросферами железа; *2b* – изометричная с оплавленными краями частица железа с примесью никеля (1–1,5%); *2c* – остроугольная частица железоникелевого сплава с содержанием никеля от 0,5 до 2%; *3* – частица титаномангнетита в силикатной оболочке (Тм – место выхода частицы на поверхность из под силикатной корочки); *4a* – остроугольное зерно гематита; *4b* – остроугольное зерно гематита; *1a–b*, *2a–2c*, *3–4a, b* – электронный сканирующий микроскоп, *1c*, *1d*, *2d*, *2e* – отраженный свет

ми железа из переходного слоя между мелом и палеогеном в разрезе Гамс (Восточные Альпы) [2].

Интересно, что прослой известняка, обогащенный метеоритной пылью (104 м), залегает на известняковой брекчии, отнесенной к штормовым образованиям (темпеститам) [6]. Часто брекчии или грубообломочные и плохосортированные породы подстилают или перекрывают слои, обогащенные металлическими шариками и частицами метеоритного происхождения. Это наблюдается в отложениях докембрия [25], на рубежах юры и мела [21], мела—палеогена [13, 38, 40]. Как правило, образование таких грубообломочных пород связывают с цунами, вызванными падением метеоритов в океан. Именно совместное нахождение грубообломочных пород и прослоев, обогащенных микросферами и частицами железа, характеризуют такого рода цунами, в отличие от цунами сейсмического происхождения [25].

Обсуждение результатов и выводы

В связи с тем, что в микросферах из верхнего кембрия разреза Батырбай примесь титана практически не обнаружена, можно допустить, что они космического, а не вулканогенного происхождения. В пользу этого допущения свидетельствует то, что только микросферам и частицам железа, возникающим при падении метеоритов, свойственна текстурная поверхность [12, 36, 39, 41]. Обращает на себя внимание также тот факт, что обнаруженные в вер-

хнем кембрии микросферы, как и другие микросферы метеоритного происхождения, полые, что является свидетельством кипения железа при нагреве метеорита в процессе прохождения через атмосферу Земли. Микросферы из верхнего кембрия следует отнести к категории «метеоритной пыли». Встреченные здесь же частицы железа неправильной формы с оплавленными краями обладают большим сходством с продуктами разрушения падающих на Землю метеоритов и относятся к категории «метеоритного железа» [12, 36, 41].

Приуроченность микросфер и частиц железа к средней части зоны *Cordylodus primitivus* позднего кембрия свидетельствует, что падение метеорита произошло именно в это время, хотя не исключено, что и раньше, а микросферы и частицы были переотложены.

Исходя из наших предположений о природе микросфер, по-видимому, падение метеорита совпало с началом эвстатического события «Лэнк Рэнч». Если допустить, что образование известняковой брекчии, подстилающей прослой с микросферами и частицами железа в разрезе Батырбай, связано с цунами метеоритного происхождения, то можно заключить, что метеорит упал в океан. Поскольку обнаруженных микросфер и частиц железа немного и их размеры достаточно малы, вероятно, упавший метеорит был не крупным.

Работа выполнена при поддержке программы № 17 «Происхождение и эволюция биосферы», грантов РФФИ 06-05-65201, 06-05-65162, 05-05-64949 и гранта INTAS-03-51-5807.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аполлонов М.К., Жемчужников В.Г. Литостратиграфия батырбайского разреза пограничных отложений кембрия и ордовика в Малом Каратау // Изв. АН КазССР. Сер. геол. 1988. № 1. С. 22–36.
2. Грачев А.Ф., Корчагин О.А., Цельмович В.А. Космическое вещество в глине на границе мела и палеогена (Гамс, Восточные Альпы) // Мат. VII между. конф. «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле». Борок, 2006. С. 21–22.
3. Дубинина С.В. Уточнение начала эвстатического события Лэнк Рэнч на границе кембрия и ордовика // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1993. Т. 1. № 2. С. 100–103.
4. Дубинина С.В. Конодонты и зональная стратиграфия пограничных отложений кембрия и ордовика. М.: Наука, 2000. 237 с.
5. Дубинина С.В. Пути и методы детального расчленения нижнего палеозоя морских бассейнов разного типа // Пути детализации стратиграфических схем и палеогеографические реконструкции / Под ред. Ю.Б. Гладенкова, К.И. Кузнецовой. М.: ГЕОС. 2001. С. 109–135.
6. Жемчужников В.Г. Эвстатическое событие на границе кембрия и ордовика в Казахстане // Вестн. АН КазССР. 1987. Т. 6. С. 78–82.
7. Захаров В.А., Лапухов А.С., Шенфильд О.В. Иридиевая аномалия на границе юры и мела на севере Сибири // Геология и геофизика. 1993. Т. 34. № 1. С. 102–109.
8. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета (МСК) и его постоянных комиссий. В. 33. Л.: ВСЕГЕИ, 2002. 51 с.
9. Соботович Э.В., Бондаренко Г.Н., Коромысленко Т.И. Космическое вещество в океанических осадках и ледниковых покровах. Киев: Наук. думка, 1978. 118 с.
10. Флоренский К.П., Иванов А.В., Ильин Н.П., Петриков А.М.Н., Лосева Л.Е. Химический состав космических шариков из района Тунгусской катастрофы и некоторые вопросы дифференциации вещества космических тел // Геохимия. 1968. № 10. С. 1163–1173.
11. Цельмович В.А. Микроскопическая диагностика магнитных частиц в изверженных и осадочных породах. Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент // Мат. всерос. конф. Борок, 2006. С. 149–154.
12. Aaloe A., Tirmar R. Pulverized and impactite meteoritic matter in the Kaali crater field. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised // Geologia. 1981. V. 30. N. 1. P. 20–27.
13. Albertao G.A., Martins P.Jr. A possible tsunami deposit at the Cretaceous-Tertiary boundary in Pernambuco, northeastern Brazil // Sedimentary Geology. 1996. V. 104. P. 189–201.
14. Apollonov M.K., Chugaeva M.N., Dubinina S.V., Zhemchuzhnikov V.G. Batyrbay Section, South Kazakhstan, USSR — potential stratotype for the Cambrian-Ordovician boundary // Geological Magazine. 1988. V. 125, N. 4. P. 445–449.
15. Bi D., Morton R.D., Wang K. Cosmic nickel-iron alloy spherules from Pleistocene sediments, Alberta, Canada // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1993. V. 57. P. 4129–4136.
16. Blanchard M.B., Brownlee D.E., Bunch T.E., Hodge P.W., Kyte F.T. Meteoroid ablation spheres from deep-sea sediments // Earth Planet. Sci. Lett. 1980. V. 46. P. 178–190.
17. Colombetti A., Ferrari G., Nicolodi F., Panini F. Some metallic spherules in calcareous-marly sediments of the Romanoro Flysch, Sestola-Vidiciatico tectonic unit (Modena district, Northern Apennines, Italy) // Planet. Space Sci. 1998. V. 46. N. 213. P. 329–340.
18. Cook H.E., Taylor M.E., Zhemchuzhnikov V.G., Apollonov M.K., Ergaliev G.Kh., Dubinina S.V., Melnikova L.M., Sargaskae V.Z.S., Zakharov A.V. Evolution of Early Paleozoic Carbonate Seamount Maly Karatau Range, Southern Kazakhstan, USSA: New evidence for Early History of Kazakhstan // 28th Intern. Geol. Congress. Abstracts. Washington. 1989. Vol. 1 of 3. P. 322–324.
19. Crozier W.D. Black, magnetic spherules in sediments // J. Geophys. Res. 1960. V. 65. P. 2971–2977.
20. Dubinina S.V. Upper Cambrian and Lower Ordovician conodont associations from open-ocean paleoenvironments, illustrated by Batyrbay and Sarykum sections in Kazakhstan / eds. C.R. Barnes, S.H. Williams. Advances in Ordovician Geology // Geological Survey of Canada. 1991. Paper 90-9. P. 107–124.
21. Dypvik H., Smelror M., Sandbakken P.T., Salvigsen O., Kallson E. Traces of the marine Mjullnir impact event // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2006. V. 241. P. 621–636.
22. Finkelman R.B. Magnetic particles extracted from manganese nodules: Suggested origin from stony and iron meteorites // Science. 1970. V. 167. P. 982–984.
23. Fredriksson K., Gowdy R. Meteorite debris from the southern California desert // Geochim. Cosmochim. Acta. 1963. V. 2. P. 241–243.

24. Glass B. P. Upper Eocene Impact Ejecta/Spherule Layers in Marine Sediments // *Chem. Erde*. 2002. V. 62. P. 173–196.
25. Glikson A. Early Precambrian asteroid impact-triggered tsunami: Excavated Seabed, Debris Flows, Exotic Boulders, and Turbulence Features Associated with 3.47–2.47 Ga-Old Asteroid Impact Fallout Units, Pilbara Craton, Western Australia // *Astrobiology*. 2004. V. 4, N. 1. P. 19–50.
26. Glikson A. Asteroid impact ejecta units overlain by iron-rich sediments in 3.5–2.4 Ga terrains, Pilbara and Kaapvaal cratons: accidental or cause—effect relationships? // *Earth and Planetary Science Letters*. 2006. V. 246. P. 149–160.
27. Grachev A.F., Korchagin O.A., Kollmann H.A., Pechersky D.M., Tsel'movich V.A. A new look at the nature of the transitional layer at the K/T boundary near Gams, Eastern Alps, Austria, and the problem of the mass extinction of the biota // *Russ. J. Earth Sci.* 2005. V. 7. P. 1–45.
28. Kosakevich A., Disnar J.R. Nature and origin of chemical zoning in the metal nucleus and oxide cortex of cosmic spherules from the Tuamotu Archipelago, French Polynesia // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1997. V. 61. N. 5. P. 1073–1082.
29. Marvin U.B., Einaudi M.T. Black magnetic spherules from Pleistocene beach sands // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1967. V. 3. P. 1871–1884.
30. Maurette M., Jehanno C., Robin E., Hammer C. Characteristics and mass distribution of extraterrestrial dust from the Greenland ice cap // *Nature*. 1986. V. 328. P. 699–702.
31. Millard T.J., Finkelman R.B. Chemical and mineral compositions of cosmic and terrestrial spherules from a marine sediments // *J. Geophys. Res.* 1970. V. 75. P. 2125–2134.
32. Miller J.F. Cambrian and earliest Ordovician conodont evolution, biofacies, and provincialism // *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 1984. N. 196. P. 43–68.
33. Miller J.F. The Lange Ranch Eustatic Event: A regressive - transgressive couplet near the base of the Ordovician System / eds. B.D. Webby, J.R. Laurie. *Global perspectives on Ordovician geology* // Rotterdam, Balkema, 1992. P. 395–407.
34. Miono S., Nakayama Y., Shoji M., Tsuji H., Nakaniishi A. Origin of microspherules in Paleozoic-Mesozoic bedded chert estimated by PIXE analysis // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 1993. B 75. P. 435–439.
35. Much T. A. Abundances of magnetic spherules in Silurian and Permian salt samples // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1966. V. 1. P. 325–329.
36. Rakas A. Investigation of impact spherules – a new promising method for the correlation of Quaternary deposits // *Quaternary International*. 2000. V. 68-71. P. 241–252.
37. Schmitz B., Lindstrom M., Asaro F., Tassari M. Geochemistry of meteorite-rich marine limestone strata and fossil meteorites from the lower Ordovician at Kinnekulle, Sweden // *Earth and Planetary Science Letters*. 1996. V. 145. P. 31–48.
38. Schulte P., Speijer R., Mai H., Kontny A. The Cretaceous—Paleogene (K—P) boundary at Brazos, Texas: Sequence stratigraphy, depositional events and the Chicxulub impact // *Sedimentary Geology*. 2006. V. 184. P. 77–109.
39. Stankowski W.T.J., Katrusiak A., Budzianowski A. Crystallographic variety of magnetic spherules from Pleistocene and Holocene sediments in the Northern foreland of Morasko-Meteorite Reserve // *Planetary and Space Science*. 2006. V. 54. P. 60–70.
40. Stuben D., Kramar U., Harting M., Stinnesbeck W., Keller G. High-resolution geochemical record of Cretaceous-Tertiary boundary sections in Mexico: New constraints on the K/T and Chicxulub events // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2005. V. 69. N. 10. P. 2559–2579.
41. Szor Gy., Elekes Z., Rozsa P., Uzonyi L., Simulak J., Kiss A.Z. Magnetic spherules: cosmic dust or markers of a meteoritic impact? // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 2001. Ser. B. V. 181. P. 557–562.
42. Thiel E., Schmidt A. Spherules from the Antarctic ice cap // *J. Geophys. Res.* 1961. V. 66. P. 307–310.
43. Wright F.W., Hodges W., Langway S. Studies of particles for extraterrestrial origin: I. Chemical analyses of 118 particles // *J. Geophys. Res.* 1963. V. 68. P. 5575–5588.
44. Yada T., Nakamura T., Noguchi T., Matsumoto N., Kusakabe M., Hiyaon H., Ushikubo T., Sugiura N., Kojima H., Takoka N. Oxygen isotopic and chemical compositions of cosmic spherules collected from the Antarctic ice sheet: Implications for their precursor materials // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2005. V. 69. N. 24. P. 5789–5804.

Геологический институт РАН
 Российский государственный
 геологоразведочный университет
 Институт физики Земли РАН
 Рецензент — В.М. Цейслер