

УДК 521.21 + 551.8

КОСМИЧЕСКИЕ МАГНЕТИТОВЫЕ МИКРОСФЕРЫ И МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЧАСТИЦЫ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ ПЕРМЬ–ТРИАС В ТОЧКЕ ГЛОБАЛЬНОГО СТРАТОТИПА ГРАНИЦЫ (СЛОЙ 27, МЭЙШАНЬ, КИТАЙ)

© 2010 г. О. А. Корчагин, В. А. Цельмович, И. И. Поспелов, Цяньтао Бянь

Представлено академиком Ю.Г. Леоновым 02.06.2009 г.

Поступило 03.06.2009 г.

Исследование эталонных стратиграфических разрезов, где зафиксированы наиболее полные последовательности геологических, космических, климатических и биотических событий, считается одним из приоритетных направлений фундаментальной геологии. С одной стороны, на примере изучения таких объектов вырабатываются новейшие методики восстановления событий прошлого, а также рождаются или разрушаются гипотезы биосферных кризисов. С другой стороны, это изучение имеет большое значение для практической стратиграфии, поскольку во многих случаях выявляются новые реперные стратиграфические уровни, многие из которых используются для расчленения и корреляции древних толщ.

Одним из наиболее важных объектов, находящихся последние годы в поле зрения ученых разных стран мира, является граница пермь–триас, которая отражает самую крупную биосферную катастрофу в фанерозойской истории развития Земли.

Детальные исследования китайских геологов показали, что полная стратиграфическая последовательность между пермью и триасом в мире лучше всего проявляется в разрезе Мэйшань (провинция Чжэцзян) на юго-востоке Китая [1, 2]. Позднее Международная стратиграфическая комиссия приняла решение о выборе в этом разрезе Точки глобального стратотипа границы (Global Stratotype Section Point, GSSP) [3]. Согласно этому решению, граница между пермью и триасом проводится в средней части слоя доломити-

зированного известняка мощностью 16 см (слой № 27) по появлению вида конодонта *Hindeodus parvus*. Собственно переходный слой № 27 подразделен снизу вверх на четыре подслоя – 27a, 27b, 27c, 27d – и граница помещена в основание подслоя 27c [3].

Настоящее сообщение посвящено новым результатам, полученным российско-китайской научно-исследовательской группой при изучении этого разреза (рис. 1). В нем представлены первые данные о металлических частицах и магнетитовых микросферах космического происхождения, обнаруженных в больших количествах в переходном слое № 27 границы пермь–триас, впервые даны их морфологическое описание и химические составы, также впервые приведена дифференциация космического вещества снизу вверх по разрезу при переходе от перми к триасу.

В основу работы положены материалы, собранные О.А. Корчагиным, И.И. Поспеловым, Цяньтао Бянь в 2006 г. Исследования проводили согласно методике (mm-peg-mm), опробованной ранее на примере пограничного интервала на границе мел–палеоген в г. Гамс (Восточные Альпы, Австрия) [4]. Из разреза 2 м ниже и 2 м выше границы отбирали (иногда выпиливали) образцы последовательно расположенных ориентированных слоев, которые затем всесторонне изучали в лабораторных условиях.

Слой № 27 был разделен снизу вверх на 21 пластину равной толщины (0.5–0.7 см) без учета литологических особенностей состава породы (рис. 2). Для того чтобы избежать возможного техногенного заражения породы, выпиленные пластины перед их изучением на электронном микроскопе обтачивали на иллюминаторном стекле без абразива с использованием дистиллированной воды. Затем породу из пластин дробили, измельчали и очищали ультразвуком на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega II с микроанализатором Inca Oxford Instruments в Геофизической обсерватории “Борок” Института физики

Геологический институт
Российской Академии наук, Москва
Геофизическая обсерватория “Борок”
Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской Академии наук, Борок Ярославской обл.
Институт геологии и геофизики
Академии наук КНР, Пекин

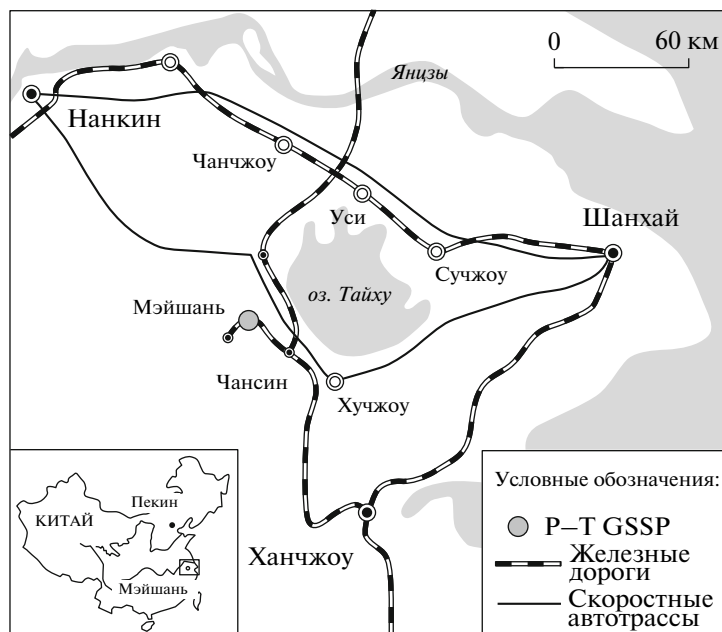


Рис. 1. Местоположение Точки глобального стратотипа границы пермь–триас, Мэйшань (Китай).

Земли РАН в п. Борок (Ярославская область). Во всех случаях анализировали поверхность выделенных магнитных частиц, микросфер и минералов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В слое № 27 выявлены многочисленные и разнообразные микросферы магнетита, многочисленные и разнообразные по форме и составу металлические частицы Fe, частицы различной морфологии Ni и сплавов Fe–Cr, Fe–Cr–Ni, а также частицы сплава Fe–Nd–Pr–Ni. Выявленные микросферы и частицы с большой вероятностью имеют внеземное происхождение. Кроме того, выявлены и другие металлические частицы, такие как частицы Cu, Cu–Zn, Zn, а также оплавленные (корродированные?) зерна магнетита, происхождение которых не определено.

На рис. 2 приведены данные по распределению обнаруженных микросфер и частиц в слое № 27 разреза Мэйшань. Изображения наиболее характерных из них представлены на рис. 3.

Микросферы магнетита (рис. 3, структуры 1–4). Имеют практически идеальную сферическую форму и диаметр 50–150 мкм. Обычно встречаются микросферы с двумя текстурными поверхностями – с ровной игольчато-кристаллической (рис. 2, структура 3) и бугристо-кристаллической текстурой поверхности (рис. 3, структуры 1, 4). На внутренних сколах некоторых микросфер отчетливо видна игольчато-кристаллическая структура магнетита, из которого сложены микросферы (рис. 3, структуры 2, 2а). Судя по внутреннему отпечатку (рис. 3, структура 2а),

можно предполагать, что некоторые микросферы магнетита могли иметь и внутреннее ядро. Микросферы магнетита распределены практически равномерно в слое № 27, хотя и имеются интервалы, в которых они не найдены.

Частицы Fe имеют самую разнообразную форму и текстуру поверхности. Они встречаются либо в виде изогнутых пластин с продольными (рис. 3, структура 7) или поперечными бороздками (рис. 3, структура 8) длиной 10–50 мкм, либо в виде изометричных зерен с частично оплавленными краями или частиц с концентрическими бороздками. Частицы Fe обнаруживают от основания слоя вплоть до его кровли, они отсутствуют лишь в нескольких образцах.

Частицы Ni встречаются либо в виде округлых (оплавленных?) зерен диаметром 15–30 мкм (рис. 3, структура 5), либо в виде вытянутых слабоизогнутых пластин длиной до 150 мкм, или же представлены плоскими пластинами остроугольной формы до 150 мкм в диаметре. Частицы Ni обнаружены преимущественно в нижней и средней частях слоя. В верхней части слоя найдены частицы сплава Fe–Ni.

Частицы сплавов с Cr имеют состав как Fe–Cr–Ni, так и Fe–Cr и встречаются либо в виде зерен изометричной оплавленной формы (рис. 2, структура 9), либо в виде остроугольных пластин (рис. 2, структура 6). Размеры частиц колеблются в пределах от 20 до 50 мкм. Частицы сплавов с Cr имеют столь же широкое распространение, как частицы Fe и микросферы магнетита; они найдены во всем слое: от его основания до кровли. Од-

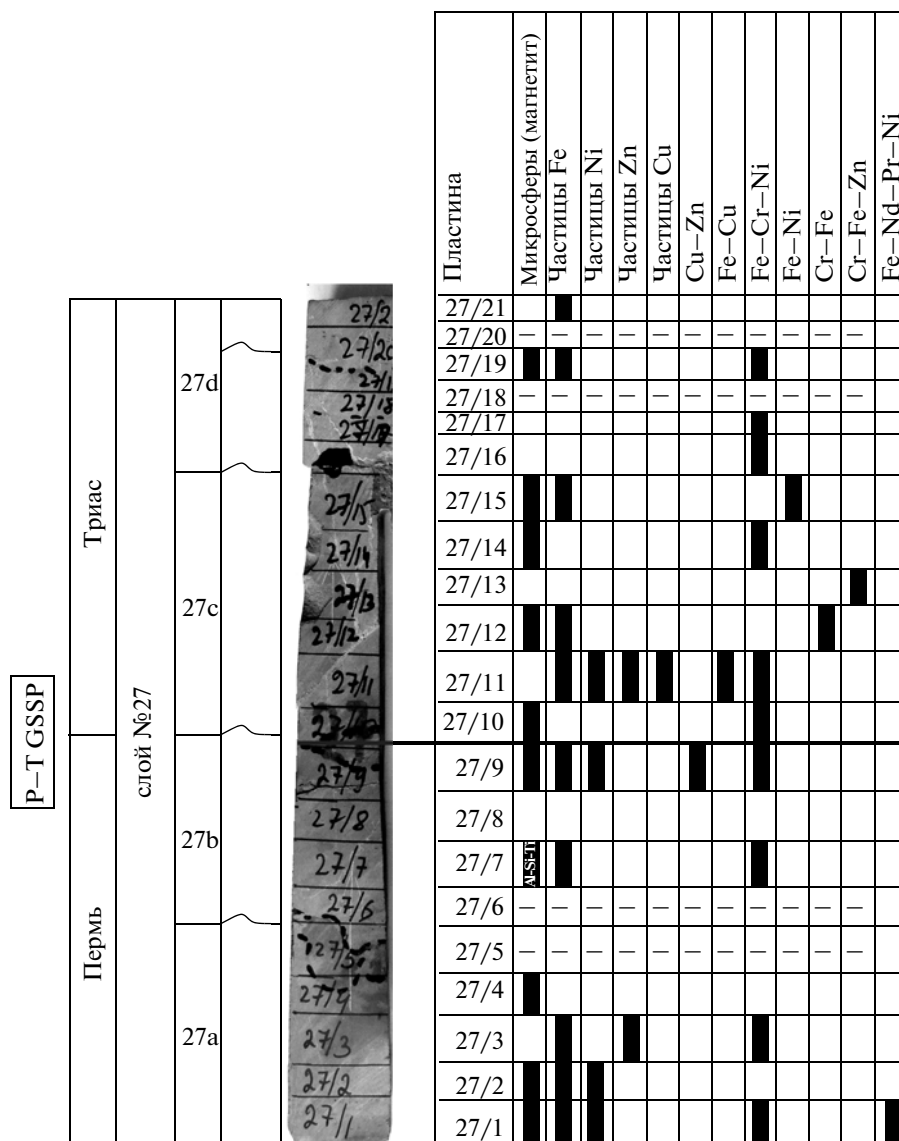


Рис. 2. Переходный слой № 27 из разреза Мэйшань, его стратиграфическое деление и распределение в нем магнетитовых микрошеры и металлических частиц.

Прочерк означает, что пластины на наличие космической пыли не анализировали.

нако мы отметили их повышенную концентрацию у основания слоя и в его средней части.

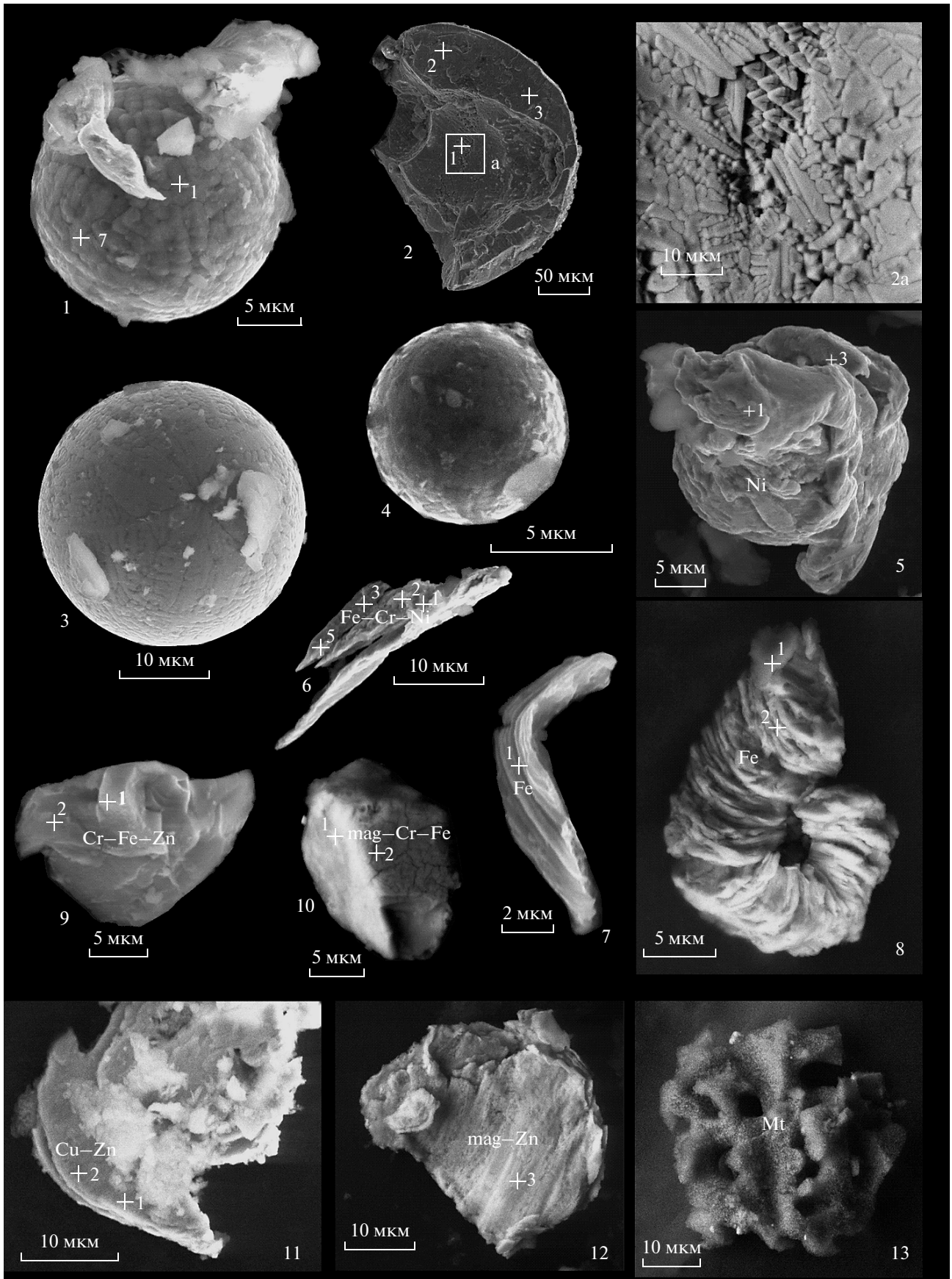
Частицы сплава Fe-Nd-Pr-Ni представлены мелкими изометричными зернами диа-

метром 2–5 мкм и находятся только в самой нижней части слоя № 27.

Кроме приведенных металлических частиц и микрошеры в слое № 27 содержатся и частицы Cu,

Рис. 3. Изображения некоторых магнетитовых микрошеры и металлических частиц, обнаруженных в переходном слое № 27 границы пермь–триас в разрезе Мэйшань.

Структуры: **1** – микрошера магнетита с бугристо-кристаллической текстурой поверхности (обр. 27-2_8_Fe_Mt_cosm_Tm), **2** – фрагмент микрошеры магнетита (скорлупа) (обр. 27-14_1Mt), **2a** – увеличенный фрагмент внутренней полости магнетитовой микрошеры с игольчато-кристаллической текстурой, **3** – микрошера магнетита с игольчато-кристаллической текстурой поверхности (обр. 27-2_7Mt), **4** – микрошера магнетита с бугристо-кристаллической текстурой поверхности (обр. 27-9_Mt), **5** – частица Ni оплавленно-полусферической формы (обр. 27-1_1Ni), **6** – остроугольная частица сплава Fe-Cr-Ni (обр. 27-3_7_Fe-Cr-Ni), **7** – изогнутая пластина Fe с продольными бороздками (обр. 27-1_6_Fe), **8** – изогнутая пластина Fe с поперечными бороздками (обр. 27-11_mag_9_Fe), **9** – изометричная частично-оплавленная частица сплава Cr-Fe-Zn (обр. 27-13_5_Cr-Fe-Zn), **10** – оплавленная частица (зерно) магнетита Cr-Fe (обр. 27-11_mag_7_CrFe), **11** – пластина сплава Cu-Zn (обр. 27-9_15_Cu-Zn), **12** – пластина Zn на магнетите (обр. 27-11_mag-11_Zn), **13** – оплавленная (корродированная) частица магнетита (обр. 27-9_4_Mt).



Zn, а также сплава Cu–Zn, которые довольно редки и расположены в средней части слоя.

Следует отметить, что магнетитовые микросферы и металлические частицы в огромном их разнообразии были обнаружены нами только в слое № 27 и не встречаются ни ниже, ни выше по разрезу.

СРАВНЕНИЯ И ВЫВОДЫ

Найденные магнетитовые микросферы с игольчато-кристаллической текстурой идентичны магнетитовым микросферам из метеоритного кратера Мораска [5], что можно рассматривать как прямое доказательство их космической (метеоритной) природы. Присутствие большого количества частиц и чистого Ni, и Ni в качестве примеси к другим металлам (Fe–Cr–Ni, Fe–Ni) также указывает на их космическое происхождение [6].

Найденные в Мэйшане частицы Fe по морфологии весьма близки к тем, что были обнаружены в переходном слое глин на границе мел–палеоген в Гамсе, где имеются прямые индикаторы их импактного метеоритного происхождения, такие как микроалмазы, мавсонит и Ni-шпинель [4]. Следовательно, можно предполагать, что и в Мэйшане частицы Fe могут иметь внеземное происхождение.

Внеземная природа большинства найденных частиц отчасти подтверждается отсутствием в них примеси Ti, содержание которого в частицах вулканического происхождения, как считается, должно превышать 10% [6].

Наличие частиц сплава Cu–Zn, обнаруженных в слое № 27, недавно установлено в горизонте с магнетитовыми микросферами из нижнего сеномана Крыма, где также предполагается их внеземное происхождение [7].

Природа других частиц, таких, например, как частицы Cu, Zn, пока не ясна. “Оплавленные” (корродированные?) зерна магнетита, обнаруженные в разрезе Мэйшань (рис. 2, структура 13), обладают определенным сходством с “оплавленными” кристаллами из нижнего сеномана Крыма, распространенными вместе с микросферами магнетита [7]. Можно предполагать, что подобные кристаллы магнетита могут быть связаны с жизнедеятельностью бактерий, активность которых существенно возрастает в породах, содержащих метеоритные частицы.

Известно, что в разрезе Мэйшань присутствуют прослойки пеплов на разных стратиграфических уровнях, в том числе и в непосредственной близости к слою № 27. Это слой № 25, находящийся на 5–7 см ниже слоя № 27, и № 28, непосредственно перекрывающий слой № 27 [8]. Прослойки пеплов встречаются и на других уровнях, что свидетель-

ствует о значительной вулканической деятельности на границе пермь–триас. Детальное изучение пепла из слоя № 25 показало, что металлических образований, подобных описанным частицам, в нем нет.

Необходимо отметить, что ранее вблизи границы пермь–триас в разрезе Шансы (провинция Сычуань, Китай) были обнаружены микросферы Fe, по крайней мере некоторые из которых по соотношению St/Fe имеют внеземное происхождение (либо хондрит, либо космическая пыль), тогда как природа других микросфер Fe не определена [9]. Насколько одновозрастными могут быть микросферы из слоя № 27 разреза Мэйшань и микросферы из Шансы, описанные в этом сообщении, еще предстоит уточнить. Подчеркнем, что по текстурным особенностям поверхности микросферы магнетита из Мэйшаня отличаются от микросфер из Шансы.

Обращает на себя внимание также повышенная концентрация частиц и микросфер, выделенных в слое № 27 разреза Мэйшань вблизи поверхностей перерывов или контактов литологических разностей пород (рис. 2). Концентрация магнетитовых микросфер и металлических частиц повышена в самой нижней части слоя № 27, а также вблизи контакта № 27b и № 27c (непосредственно ниже и выше их). Возникает вопрос, не связано ли обогащение микросферами и металлическими частицами указанных частей слоя № 27 с частичным размывом осадка? По данным абсолютной геохронологии, полученным по прослою пепла № 25 (252.7 ± 0.4 млн. лет) в 5 см ниже слоя № 27 и прослою пепла № 28, перекрывающему слой № 27 (250.7 ± 0.3 млн. лет) [8], также следует, что накопление слоя № 27 охватывало довольно продолжительный отрезок времени – чуть менее 2 млн. лет. Означает ли это, что повышенная концентрация обнаруженных космических частиц происходила на фоне замедления осадконакопления?

Ранее, при изучении пограничного интервала между юрой и мелом, был выявлен обогащенный микросферами Fe горизонт, который мог формироваться в спокойной обстановке при замедлении темпов осадконакопления. Этим, собственно, и объясняется повышенная концентрация микросфер Fe [10]. Подчеркнем, что и в случае с горизонтом микросфер в верхнем кембрии вмещающие его известняки формировались в относительно глубоководных условиях с низкими скоростями осадконакопления [11].

Следовательно, вопрос о природе обогащения некоторых горизонтов осадков космическим веществом еще предстоит выяснить. Не исключено, что породы, накапливавшиеся в глубоководной спокойной обстановке, лучше, чем все остальные, сохраняют следы поступления космического вещества на Землю. В случае же с данными по

Таблица 1. Состав микросфер магнетита и металлических частиц (мас. %)

Элемент	Структура										
	1/1	1/7	2/1	2/2	2/3	5/1	5/3	6/1	6/2	6/3	6/5
Fe	68.13	65.37	95.31	75.41	84.38	—	—	49.98	64.37	70.01	69.57
Ni	—	—	—	—	—	95.63	97.68	2.74	9.70	6.66	10.31
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cu	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ti	—	—	—	—	—	—	—	—	0.90	1.31	1.76
Mg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	—	—	—	—	—	—	—	5.87	15.63	19.36	14.63
O	31.87	33.7	4.35	22.50	14.66	4.37	2.32	35.95	7.88	2.66	3.01
(Прочие – Al, Ca, Si)	—	0.93 (Si)	0.35 (Si)	2.09 (Si)	0.95 (Si)	—	—	2.73 (Si), 2.74 (Al)	1.51 (Si)	—	—

Элемент	Структура									
	7/1	8/1	8/2	9/1	9/2	10/1	10/2	11/1	11/2	12/3
Fe	92.77	59.72	93.71	22.63	17.59	32.15	28.67	1.12	0.99	—
Ni	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	—	—	—	1.62	2.33	—	—	—	—	—
Zn	—	—	—	6.86	8.32	—	—	28.83	35.57	97.44
Cu	—	—	—	—	—	—	—	50.08	49.27	—
Ti	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mg	—	—	—	0.70	1.89	—	—	—	—	—
Cr	—	—	—	22.37	22.24	41.66	25.64	—	—	—
O	7.23	36.39	5.14	37.85	36.16	17.65	35.97	9.99	7.63	0.42
(Прочие – Al, Ca, Si)	—	3.89 (Si)	3.89 (Si)	4.22 (Al), 3.29 (Si), 0.45 (Ca)	4.21 (Al), 6.66 (Si), 0.60 (Ca)	8.54 (Al)	9.72 (Al)	2.41 (Al), 7.57 (Si)	1.44 (Al), 5.09 (Si)	2.14 (Al)

Примечание. Номера структур соответствуют номерам на рис. 3.

разрезу Мэйшань обращает на себя внимание тот факт, что обогащение космическим веществом происходит не только ниже контактов (это предполагает чисто седиментационную модель рассматриваемого процесса), но и выше них. Объяснить это переотложением или замедлением осадконакопления сложно. Значит ли это, что поверхности перерывов в слое № 27 в какой-то степени отражают процессы или внеземного характера, или замедления осадконакопления вблизи литологических границ?

Таким образом, есть основания считать, что обнаруженные магнетитовые микросферы, а также частицы Fe и некоторых сплавов с Ni и Cr имеют внеземное происхождение и либо могут быть связаны с метеоритом, либо могут быть следствием интенсификации поступления на Землю космического вещества (космическое пылевое событие, cosmic dust event).

Сам факт обнаружения разнообразного вещества, с большой вероятностью имеющего космическую природу, заслуживает самого пристального изучения, поскольку эти данные могут привести к пересмотру моделей биосферных кризисов (кризиса на границе пермь–триас в том числе), а также степени взаимодействия и влияния на них земных и космических процессов.

Можно предполагать, что в момент такого биосферного кризиса не только интенсивно проявился вулканизм (сибирские траппы, эймэншаньский вулканизм), но и усилилось поступление на Землю космического вещества либо за счет падения метеорита (или метеоритов), либо за счет интенсификации выпадения космических частиц (космическое пылевое событие) на Землю.

Приведенные в сообщении данные свидетельствуют о том, что интенсивное поступление на Землю космического вещества случилось уже по-

сле массового вымирания биоты (в том числе фораминифер) в самом конце перми [12].

Авторы признательны профессору Шэнь Шучжуну (Shen Shuzhong) (Институт геологии и палеонтологии АН КНР, Нанкин) за помощь в организации работ, профессору Сюй Даою (Xu Daoyi) (Институт геологии АН КНР, Государственное сейсмологическое бюро, Пекин) за оказанные консультации, профессорам В.А. Захарову и Ю.Б. Гладенкову (Геологический институт РАН) за обсуждение рукописи.

Работа выполнена по программе № 15 (“Происхождение биосферы и эволюция геобиологических систем”) Президиума РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Xu Daoyi, Zhang Qinwen, Sun Yiyin et al.* Astrogeological Events in China. L.: Van Nostrand Reinold, 1989. P. 1–262.
2. The Paleozoic-Mesozoic Boundary – Candidates of the Global Stratotype Section and Point (GSSP) of the Permian–Triassic Boundary/Yin Hongfu. Ed. Wuhan: China Univ., Geoscience Press, 1996. P. 1–137.
3. *Yin Hongfu, Zhang Kexin, Tong Jinnan et al.* // Episodes. 2001. V. 24. № 2. P. 102–114.
4. *Grachev A.F., Korchagin O.A., Tsel'movich V.A.* // Abh.-Geol. Bund. 2009. Bd. 63. S. 135–146.
5. *Stankowski W.T.J., Katrusiak A., Budzianowski A.* // Planet. and Space Sci. 2006. V. 54. P. 60–70.
6. *Szoor Gy., Elekes Z., Rozsa P. et al.* // Nuclear Instrum. and Meth. Phys. Res. 2001. Ser. B. V. 181. P. 557–562.
7. *Корчагин О.А.* // ДАН. 2010. Т. 431. № 6. С. 783–787.
8. *Mundil R., Metcalfe I., Ludwig K.R. et al.* // Earth and Planet. Sci. Lett. 2001. V. 187. P. 131–145.
9. *Gao Zhengang, Xu Daoyi, Zhang Qinwen, Sun Yiyin* // Geol. Rev. 1987. V. 33. № 5. P. 17–23.
10. *Захаров В.А., Ланухов А.С., Шенфиль О.В.* // Геология и геофизика. 1993. Т. 34. № 1. С. 102–109.
11. *Korchagin O.A., Dubinina S.V., Tsel'movich V.A., Pospelov I.I.* // Global Geol. 2007. V. 10. № 1. P. 78–82.
12. *Левен Э.Я., Корчагин О.А.* // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2001. Т. 9. № 4. С. 55–64.