

Снежный покров Центральной Антарктиды (станция Восток) как идеальный природный планшет для сбора космической пыли: предварительные результаты по выявлению микрометеоритов типа углистых хондритов

© 2012 г. Е.С. Булат^{1,2}, В.А. Цельмович³, Ж.-Р. Petit⁴, Л.М. Гиндилис⁵, С.А. Булат¹

¹НИИ «Курчатовский институт» ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова», г. Гатчина, Ленинградская обл.; ²Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва; ³Геофизическая обсерватория «Борок», филиал Института физики Земли РАН, пос. Борок, Ярославская обл.; ⁴Лаборатории гляциологии и геофизики окружающей среды, г. Гренобль, Франция; ⁵Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

bulat@omrb.pnpi.spb.ru

Статья принята к печати 13 октября 2012 г.

Антарктида, астробиология, космическая пыль, лёд, межпланетная пыль, микрометеориты, снег, станция Восток.
Antarctica, astrobiology, cosmic dust, ice, interplanetary dust particles, micrometeorites, snow, Vostok station.

В 2010/11 г. сотрудниками 56-й Российской антарктической экспедиции в районе станции Восток был отобран поверхностный снег из шурфа глубиной до 3 м в 15 контейнеров, около 70 кг снега в каждом. Плавление снега и концентрирование материала из воды путём ультрафильтрации проведено в помещениях, сертифицированных по классу чистоты (10 000 и 100). Общее содержание частиц пыли не превысило 37,4 мкг/л, а их распределение по размеру составило моду (значение признака, имеющее наибольшую частоту в статистическом ряду распределения) 2,5 мкм. Для выявления космической пыли микрометеоритного типа (КП-ММ) начат анализ микрочастиц пыли на элементный состав методами электронной сканирующей микроскопии с помощью микрозондов двух типов. Из 107 проанализированных частиц в трёх установлено содержание Mg больше чем Al, что позволяет рассматривать их в качестве кандидатов КП-ММ типа углистых хондритов (carbonaceous chondrites). Эти пробы положили начало созданию коллекции Восток КП-ММ CS11. Процентное содержание данных частиц в частицах общей пыли составило 2,8%, что следует рассматривать как нижнюю оценку встречаемости частиц КП-ММ в снежном покрове центральной части Восточной Антарктиды и как первую такого рода оценку для КП-ММ типа углистых хондритов. Исходя из референтной оценки содержания всей пыли в снежном покрове Восточной Антарктиды, равной 18 мкг/кг, рассчитан поток космической пыли на Землю в Антарктиде. Он составил для коллекции Восток КП-ММ CS11 – 14 т/сут (только для хондритов), а для коллекции Конкордия DC02 – до 245 т/сут (для всех типов микрометеоритов). Результаты выполненной работы позволяют считать снежный покров в центральной части Восточной Антарктиды наиболее чистым из природных планшетов для сбора и выявления микрочастиц космической пыли на протяжении последнего миллиона лет. В настоящее время продолжается детальный анализ этих и других частиц. Полученные результаты могут быть использованы для решения проблем происхождения и эволюции твёрдого вещества в Солнечной системе, его влияния на биогеохимические и геофизические процессы, а также зарождения жизни на Земле.

Введение

Космическая пыль (КП) – доминирующий источник внеземного вещества, который постоянно выпадает на поверхность Земли. По разным оценкам, через земную атмосферу проникает и достигает поверхности Земли от 5 до 300 т/сут космической пыли [29], хотя для снежного покрова Антарктиды оценка для нанометровых частиц «метеорного дыма» в среднем намного меньше – 15 ± 5 т/сут в голоцене [27]. Не исключено, что космическая пыль как «астрохимический реактор» [18] имела отношение к процессам зарождения (появления) жизни на Земле. Под космической пылью, представляющей собой предмет настоящего исследования, мы понимаем частицы твёрдого вещества раз-

мером от долей микрометров до 30 мкм – далее идут микрометеориты (30–1000 мкм) [19]. Небольшая масса – 10^{-12} г [29], что соответствует размеру частицы около 1 мкм (объёмом около $0,5 \text{ мкм}^3$) при плотности $2,11 \text{ г/см}^3$ для углистых хондритов класса CI [12, 29], – позволяет космической пыли пройти атмосферу Земли, практически не нагреваясь, и таким образом содержать наиболее полную информацию об астрохимических и других процессах. Но это – усреднённая оценка, так как размер частицы, которая не разогревается при входе в атмосферу, зависит от скорости частицы и угла входа её в атмосферу. При косом падении торможение частицы будет медленнее и, следовательно, более крупные частицы смогут без разогрева

пройти сквозь атмосферу. Следует также учитывать, что характеристики верхних слоёв атмосферы Земли (где тормозятся мелкие частицы) зависят от уровня солнечной активности. Поэтому и размеры частиц, которые при входе в атмосферу не разогреваются, также определяются солнечной активностью (Н.Г. Бочкарев, личное сообщение). В связи со всем этим частицы, которые нас интересуют, мы обозначаем как КП-ММ5, увеличив их размеры до 5 мкм.

Как природный планшет центральная часть Восточной Антарктиды наиболее перспективна по сравнению с другими природными планшетами ввиду её малой загрязнённости земной пылью (в среднем около 18 мкг/кг [13]). Сбор космической пыли в снежном и ледниковом покровах Антарктиды – уникальная возможность изучить внеземной материал размером в микрометры в лабораториях. Этот материал наименее подвержен изменению, так как для него характерно «негорячее» вхождение в атмосферу Земли и сохранение в снеге при постоянных отрицательных температурах в отсутствии свободной воды. Отметим, что до нас отбор снега в Антарктиде для выявления внеземного вещества проводили по предложению акад. А.П. Виноградова в 14-й Советской антарктической экспедиции в 1968–1970 гг. [4]. Однако тогда акцент делался на обнаружение «оплавленных» сферических микрочастиц диаметром более 10 мкм, которые составили в поверхностном снеге станции Восток 7–8 частиц/кг снега. Близкая по содержанию работа выполнена французскими исследователями на станции Конкордия [16]. X(EDS)-спектры найденных ими антарктических микрометеоритов (АММ) [16] были взяты нами для направленного поиска КП-ММ типа углистых хондритов в снеге станции Восток в качестве предварительной задачи.

Известно, что около 60% космической пыли относится к микрометеоритам, в основном углистым хондритам, которые, как полагают, имеют астероидное происхождение [20, 25]. Остальные 40% относят к межпланетной пыли – IDPs (Interplanetary Dust Particles), состав которой существенно отличается от метеоритов, по крайней мере, по содержанию летучих соединений, и которая предположительно имеет кометное происхождение [11]. Согласно современным представлениям, IDPs в плане нелетучих элементов имеют состав обычных хондритов, по существу оливина (FeMgSiO_4). При этом соотношение основных металлов относительно Si (1,0) выглядит следующим образом: Mg (1,07), Fe (0,90), Al (0,085), Ca (0,061), Na (0,057) и Ni (0,049) [29] (т.е. превалируют Mg, Si и Fe). Отметим, что исторически внеземные частицы пыли, собранные в стратосфере, назывались IDPs, а собранные на земной поверхности – микро-

метеоритами. Раньше так называли только те частицы, которые не «оплавляются» при входе в атмосферу [32]. Однако из-за градаций в плавлении все IDPs, которые достигают земной поверхности, включая расплавленные частицы, сейчас классифицируются как микрометеориты [19]. Вместе с тем в данной работе акцент сделан на КП-ММ5. Особый интерес представляет собой обнаружение на Земле межзвёздных (Interstellar Dust Particles – ISDPs) [21] или даже межгалактических (Intergalactic dust particles – IGDPs) [2] частиц космической пыли. Именно эти частицы, будучи более «древними», могли бы дать ключ к познанию процессов возникновения или распространения (панспермии) жизни в космосе, поскольку максимальный возраст Вселенной в настоящее время оценивается в 14 млрд лет [30, 33], возраст нашей галактики (Млечного Пути) – минимум в 13,5 млрд лет [24], Солнца – около 5 млрд лет [15], а планеты Земля – 4,56 млрд лет [10, 22, 23].

По нашему мнению, жизнь, основанная на ДНК, есть свойство всей нашей Солнечной системы, а не только планеты Земля. Поэтому обнаружение современной жизни или её останков в виде биофоссилий (в частности, ископаемых микроорганизмов) [1, 7] на Марсе или спутниках Юпитера и Сатурна не решит проблему происхождения жизни, истоки которой следует искать в прошлом – на едва сформированных планетах нашей Солнечной системы или, возможно, «молодых» планетах других систем, звёзды которых 4–5 млрд лет назад входили с Солнцем в одно звёздное скопление. Полагают, что между планетами таких соседствующих солнечных систем был возможен «безопасный» для жизни обмен твёрдым материалом – литопанспермия [9]. Не исключено, что жизнь в нашей галактике существовала ещё до образования нашей Солнечной системы и была привнесена в неё в момент её формирования. А так как наша галактика в отличие от звезды Солнце довольно стара (300–500 млн лет от начала Большого Взрыва [31]), значительный интерес вызывают данные об обнаружении многочисленных разнообразных (более 170, включая сахара и спирты¹) органических соединений в разных районах Вселенной [26, 18] и их возможном привнесении в нашу Солнечную систему путём аккреции межзвёздной пыли [6], хотя последнее вряд ли связано с панспермией. Помочь в таком переносе могли бы кометы, происходящие из Облака Оорта (например, комета Hale-Bopp) [28]. Сохранение частиц космической пыли (типа КП-ММ5) на поверхности Земли – непростая задача. Именно поэтому холодный (всегда минусовый) и чистый (т.е. мало земной пыли) снежный покров центральной части Восточной Антарктиды можно считать идеальным природным планшетом.

¹[http://www.almaobservatory.org/en/press-room/press-releases/476-astrochemistry-enters-a-bold-new-era-with-alma-](http://www.almaobservatory.org/en/press-room/press-releases/476-astrochemistry-enters-a-bold-new-era-with-alma)

Сбор и обработка поверхностного снега Антарктиды по программе космической пыли

В сезон 2010/11 г. сотрудники 56-й Российской антарктической экспедицией (РАЭ) впервые провели с соблюдением максимально возможных мер по предотвращению загрязнения отбор поверхностного снега в районе российской станции Восток (центральная часть Восточной Антарктиды; координаты 78°27' ю.ш. и 106°52' в.д. — http://www.aari.aq/default_en.html) в точке vk56 (координаты 78°47' ю.ш. и 106°78' в.д.) в зоне «чистого» сектора на расстоянии около 1,3 км от построек станции. Снег отбирали по инициативе Астрокосмического центра Физического института РАН в деконтаминированные (от пыли, химических неорганических ионов и органических соединений) большие пластиковые контейнеры вместимостью 220 л (плотность снега верхнего 20-сантиметрового слоя составляет 0,32 мг/см³ [3]). Снег отбирали деконтаминированной пластиковой лопаткой из шурфа глубиной 3 м послойно — по 20 см с квадратного метра (1,1 м²). Возраст нижнего горизонта — фактически время основания станции Восток — 16 декабря 1957 г. Персонал работал в стерильных разовых комбинезонах, в хирургических разовых масках и использовал стерильные сертифицированные для «чистых» помещений виниловые перчатки (рис. 1). Всего было отобрано 15 контейнеров, в каждый из которых входило по 20 см слоя снега. Контейнеры № 1 (обр. CS11-1, глубина слоя 0–20 см) и № 15 (обр. CS11-15, глубина слоя 280–300 см) были доставлены РАЭ в Бремерхаузен (Германия), а затем в рамках российско-французского сотрудничества Европейского научно-исследовательского объединения (ЕНИО) «Восток» были перевезены в г. Гренобль (Франция), где были обработаны в лаборатории гляциологии и геофизики окружающей среды (LGGE CNRS/UJF).

Снег этих двух контейнеров обрабатывали (был расплавлен и сконцентрирован путём фильтрования через фильтры 5 000 и 10 000 дальтон — Centricon Plus-70, Millipore, США) в помещениях, сертифицированных по классу чистоты 10 000 в ламинарном кабинете класса 100. Коэффициент концентрирования составил 18 300 для образца CS11-1 и 219 для образца CS11-15. Концентрацию частиц пыли и их распределение по размеру определяли на приборе Counter Coulter, Beckman, США. Предварительно частицы пыли были просмотрены в световой микроскоп Olympus BH-2, а затем проанализированы с помощью двух сканирующих микроскопов — JSM-6400, Jeol (диаметр зонда 1 мкм) в Университете Дж. Фурье (г. Гренобль) и на микронзонде «Тескан Вега 2» (диаметр зонда 0,2 мкм, но «электронное» пятно на объекте — до 1 мкм) с приставками для энергодисперсионного и волнового анализа и приставкой Mono CL3+ для изучения катодолюминесценции в Геофизической обсерватории «Борок» (Ярославская область, Россия) [8]. Для электронных микроскопов



Рис. 1. Сбор поверхностного снега из шурфа глубиной 3 м в районе станции Восток

Fig. 1. Surface snow collecting from a 3 m deep pit nearby the station Vostok

концентрированные образцы пыли после подобранного разведения с использованием воды Millipore MilliQ (менее 10 мкг/л пыли) были профильтрованы через мембраны Nuclepore™ track-etched polycarbonate (Whatman, США) (размер пор 0,4 мкм, диаметр 13 мм). Фильтры были закреплены на алюминиевых столиках с помощью скотча. Все процедуры выполняли в «чистых» (класс 10 000) помещениях лаборатории LGGE. Поверхность столика вокруг фильтра покрывали серебром, а сами фильтры — платиной или углеродом (Consortium des Moyens Technologiques Communs, Labo Microscope Electronique a Balayage, Университет Дж. Фурье). Таким образом подготовленные образцы (столики с покрытием) были переданы на микроскопию.

Отметим, что образцы снега отбирали для комплексного исследования, а изучение КП (структуры, элементного и изотопного составов, а также содержания органических соединений) было лишь одной из его составных частей. Отбор снега по программе КП проводили в рамках четырёхстороннего соглашения между ААНИИ, АКЦ ФИАН РАН, ГАИШ МГУ имени М.В. Ломоносова и НИЦ «Курчатовский институт» ФГБУ «ПИЯФ им. Б.П. Константинова».

Предварительные результаты исследования и обсуждение

Концентрация общей пыли в собранном снеге оказалась в среднем равной 37,4 (CS11-1) и 19,4 (CS11-15) мкг/кг с модой 2,5 мкм при референтном значении 18 мкг/кг для голоцена [13], что свидетельствует о достаточно качественном отборе снега персоналом (особенно с глубины 280–300 см — образец CS11-15). При световой микроскопии образцов были выявлены «необкатанные», с острыми краями

частицы пыли разного размера (данные не приведены). Для получения первичной картины присутствия космической пыли в собранном снеге при анализе микрочастиц пыли акцент был сделан на выявление КП-ММ5 (размер менее 5 мкм) с элементным составом (присутствие Mg, Al (при Mg > Al), Si, Fe, а также S и O) ранее охарактеризованных антарктических метеоритов (Конкордия АММ), обнаруженных в снеге в окрестностях внутренней на континенте французско-итальянской станции Конкордия (Восточная Антарктида, координаты 75°60' ю.ш., 123°20' в.д.) [16]. Характерные ED X-ray спектры Конкордия АММ, на которые мы ориентировались, приведены на рис. 2; соотношение основных элементов дано в табл. 1.

В результате из 20 частиц пыли (образец CS11-1, серии А и В – 13 частиц; CS11-15 – 7 частиц), просмотренных на JSM-6400 в Гренобле (один зондовый просмотр на частицу), не было выявлено ни одной, где бы содержание Mg превышало содержание Al, что характерно для углистых хондритов. Это, однако, не исключает присутствие в образце метеоритов других типов. В то же время в образце CS11-1 серии В из 57 частиц (127 зондовых просмотров) и в образце CS11-1 серии А из 30 частиц (61 зондовый просмотр) на микрозонде «Тескан Вега 2» в Борке, были обнаружены три частицы, где содержание Mg было выше содержания Al (элементный состав – см. табл. 1):

CS11-1B-15-4 – размер 3,8 мкм;

CS11-1B-17 – размер 2 мкм, элементный состав схож с составом оливина;

CS11-1B-18-1 – размер 12,5 × 17,4 мкм, конгломерат более мелких частиц (?) или «пушистая» частица (в серии А таких частиц не было выявлено).

Все три частицы могут рассматриваться в качестве кандидатов в углистые хондриты. ED X-ray спектры двух наиболее интересных частиц (CS11-1B-15-4 и CS11-1B-18-1) приведены на рис. 3. Можно отметить сходство спектров частиц CS11-1B-18-1 (спектр 1) и Duprat AMM-1 (см. рис. 2), а также сходство CS11-1B-18-1 по форме с «пушистыми» IDP-подобными, обогащёнными углеродом частицами хондритной природы, обнаруженными в коллекции Конкордия [16] (см. рис. 3 в статье [14]). Таким образом, если учитывать три выявленные частицы КП-ММ5 типа углистых хондритов из 107 просмотренных (20+57+30), то их встречаемость составила 2,8%, т.е. каждая 35-я частица в коллекции пыли Восток КП-ММ CS11 может иметь отношение к метеоритам типа углистых хондритов, что, однако, представляет собой нижний порог оценки для метеоритов всех типов. Вместе с тем даже такая оценка позволяет считать поверхностный снег центральной части Восточной Антарктиды весьма перспективным природным планшетом для выявления космической пыли.

Таблица 1. Элементный состав (%) частиц коллекции Восток КП-ММ CS11, известных хондритов и коллекции Конкордия АММ [16, 23] (приведены данные по трём основным элементам и Al)

Микрометеориты	Al	Mg	Mg/Al	Si	Fe
<i>Метеориты (хондриты)</i>					
СI хондрит*	0,9	9,7	10,8	10,6	18,2
СМ хондрит*	1,1	11,5	10,5	12,7	21,3
СR хондрит*	1,2	13,7	11,4	15,0	23,8
СО хондрит*	1,4	14,5	10,4	15,8	25,0
СV хондрит*	1,7	14,3	8,4	15,7	23,5
<i>Коллекция Конкордия АММ</i>					
Duprat AMM-1**	3,7	13,9	3,8	20,1	13,2
Duprat AMM-2**	3,9	22,8	5,8	29,2	7,8
<i>Коллекция Восток КП-ММ CS11</i>					
CS11-1B-15-4 Bk C	2,83	6,44	2,3	22,98	6,84
CS11-1B-17 Bk C	0,0	12,83	—	16,34	24,12
CS11-1B-18-1 Bk C	1,60	12,22	7,6	14,72	32,57
–2 Bk C	1,79	9,75	5,4	14,70	36,63
–3 Bk C	2,11	7,65	3,6	13,44	42,27

*[23]. **J. Duprat [16]. Bk – Борк, C – покрытие углеродом, обозначение «1B» для образцов Восток КП-ММ CS11 означает серию В (один из вариантов приготовления фильтра для микроскопии).

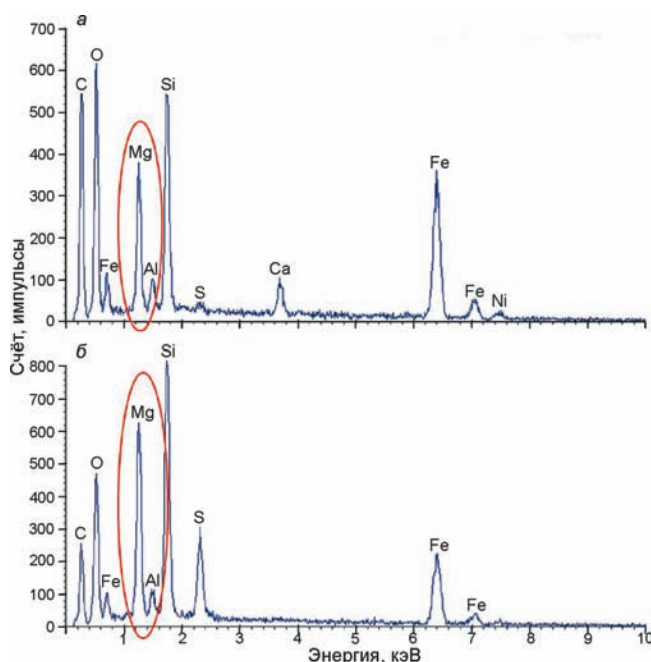


Рис. 2. ED-спектры АММ (любезно предоставлены Ж. Дюпра, Université d'Orsay Paris Sud).

а и б – соответственно частицы Duprat AMM-1 и Duprat AMM-2 (см. табл. 1); Mg и Al выделены овалом

Fig. 2. EDS of AMM (courtesy of J. Duprat, Université d'Orsay Paris Sud).

а и б – Duprat AMM-1 and Duprat AMM-2 particles (Table 1); Mg and Al are highlighted with the oval

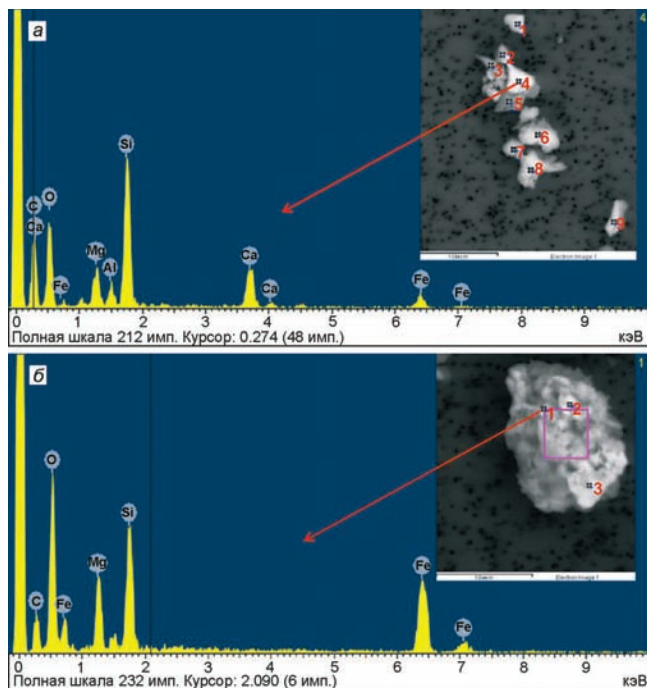


Рис. 3. EDX спектр и изображение частиц CS11-1B-15-4 (а) и CS11-1B-18-1 (б), полученные с использованием микрозонда «Тескан Вега 2» в Борке

Fig. 3. EDX spectra and image of particles CS11-1B-15-4 (a) and CS11-1B-18-1 (b) analyzed by microprobe Tescan Vega 2 in Borok

В связи с этим заметим, что в коллекции Конкордия АММ (DC00 и DC02), собранной со всеми мерами предотвращения загрязнения, соотношение всех типов внеземных частиц к земным частицам удалось поднять с 10% (2000 г.) до 50% (2002 г.) [16]. При этом внеземные частицы относились ко всем семействам микрометеоритов [19]. Помимо частиц КП-ММ типа углистых хондритов, мы обнаружили также следующее: микрочастицу незонального циркона (возможно, космического происхождения); «останки» магнитных (магнитотактических) бактерий; самородный алюминий с вольфрамово-титанистым включением; частицу оксида железа с необычной термодинамически несовместимой композицией; ряд других интересных находок, перекрывающихся с тем, что найдено в отложениях разреза Гамс (Австрия) на границе мезозоя и кайнозоя [5], и требующих дополнительных исследований.

Теоретические расчёты количества космической пыли, выпадающей на Землю

Полученное и известные [16] значения встречаемости КП-ММ в поверхностном снеге центральной части Восточной Антарктиды позволяют оценить количество космической пыли, выпадающей на Землю. Для расчётов использовали следующие

Таблица 2. Количество космической пыли, выпадающей на всю поверхность Земли (т/сут), рассчитанное по данным содержания КП (АММ) в общей пыли снежного покрова центральной части Восточной Антарктиды

Коллекция	Содержание, %	Референтное содержание общей пыли (18 мкг/кг)	Содержание общей пыли в образце	
			CS11-15 (19,4 мкг/кг)	CS11-1 (37,4 мкг/кг)
Восток КП-ММ CS11	2,8	13,7	14,8	27,9
Конкордия АММ:				
DC00	10	49	52	100
DC02	50	245	260	501

данные: 1) 2,8% КП-ММ типа углистых хондритов от общей пыли (коллекция Восток КП-ММ CS11); 2) 10% ММ всех типов от общей пыли (коллекция Конкордия АММ DC00); 3) 50% ММ всех типов от общей пыли (коллекция Конкордия АММ DC02); 4) 18 мкг/кг – референтное значение содержания общей пыли, выпадающей в центральной части Восточной Антарктиды для голоцена [13] (для станций Восток и Конкордия); 5) 0,32 г/см³ – плотность поверхностного снега (для 20 см верхнего слоя) [3]; 6) 6,0 см в год – снегонакопление в окрестностях станции Восток [17].

При расчёте потока пыли, падающей на единицу поверхности Земли в год (г/м² в год), использовали выражение

$$m = \mu ST(h),$$

где m – количество пыли в исследуемом слое снега, г; μ – поток пыли, г/м² в год; S – площадь сбора; $T(h)$ – количество лет, соответствующее глубине h ; при величине снегонакопления 6 см в год $T(h) = h/0,06$.

При площади отбора 1,1 м² 20-сантиметровый слой снега, собираемый в один контейнер, имеет объём 1,1² × 0,2 = 0,24 м³; масса снега составляет 76,8 кг. При референтном значении 18 мкг/кг ожидаемое количество пыли в исследуемом слое $m = 1,8 \times 76,8 = 1,4 \times 10^3$ мкг = 1,4 мг; поток $\mu = 0,35 \times 10^{-3}$ г/м² год. В расчёте на всю поверхность Земли: 1,8 × 10⁵ т/год = 4,9 × 10² т/сут. Исходя из этих величин и принимая приведённую выше долю космической пыли для разных станций/коллекций, получим следующие оценки потока космической пыли – табл. 2.

Выводы

Положено начало созданию коллекции Восток КП-ММ CS11 (2011 г.). В данной коллекции пока выявлены лишь три частицы в качестве кандидатов на КП-ММ5 типа углистых хондритов, изотопные и прочие анализы которых планируются в перспективе.

Из этих частиц одна (наиболее ценная находка) может представлять собой «пушистую» IDP-подобную хондритной природы, т.е. может относиться к КП-IDP (кометной природы). Встречаемость КП-ММ5 хондритного типа оценена в 2,8%, что, однако, представляет собой нижний порог оценки встречаемости КП-ММ всех семейств микрометеоритов. Таким образом, в результате «пилотного» исследования подтверждено, что снежный покров центральной части Восточной Антарктиды пригоден для эффективного выявления КП-ММ с довольно высокой встречаемостью. Интересны и нуждаются в дальнейшем исследовании и другие найденные частицы пыли, которые могут иметь внеземное происхождение.

Используя данные по содержанию КП-ММ (АММ) в снежном покрове центральной части Восточной Антарктиды, впервые сделана реальная оценка количества КП (АММ), выпадающей по поверхность Земли — от 14 т/сут (только для хондритов размера КП-ММ5) для коллекции Восток КП-ММ CS11 и до 245 т/сут (для ММ всех типов) для коллекции Конкордия АММ DC02 (при референтном значении 18 мкг/кг содержания общей пыли и условиях равномерного распределения космической пыли по поверхности Земли).

Планы и перспективы

Планируются просмотр большего числа частиц в уже сделанных образцах с целью расширения коллекции Восток КП-ММ CS11, а также добавление в исследование ещё одного образца (CS11-8; слой снега с глубины 140–160 см). Кроме того, будут оценены два других природных снежных планшета на предмет эффективности выявления космической пыли. Один из них — поверхностный снег Восточной Антарктиды недалеко от береговой черты в 10 км в глубь материка в районе прибрежной российской станции Прогресс, где земной пыли оказалось немного больше чем на станции Восток — 60–70 мкг/кг, но той же моды. Другой планшет — лёд последнего ледникового периода в Гренландии (NEEM проект), где содержание земной пыли достигает 3000–8000 мкг/кг и частицы имеют больший размер.

Благодарности. Авторы выражают благодарность начальнику РАЭ В.В. Лукину за логистическое сопровождение работ, В.Я. Липенкову за научное сопровождение работ, А.А. Екайкину и С.М. Бушманову за добросовестный сбор снега, J. Durga за ценное консультирование по проблеме АММ, Г.Л. Лейченкову за помощь в идентификации минералов, а также Н.Г. Бочкареву и А.К. Павлову за вклад в улучшение статьи.

Работа поддержана грантами Российской Федеральной целевой программы «Мировой океан», проект 2 подпрограммы «Антарктика», программы № 28 Пре-

зидиума РАН, РФФИ, проект № 10-05-00117_a (В.А. Цельмович) и частично РФФИ, проект № 10-05-93108-НЦНИЛ_a (С.А. Булат).

Литература

1. Астафьева М.М., Герасименко Л.М., Гентнер А.Р., Жегалло Е.А., Жмур С.И., Карпов Г.А., Орлеанский В.К., Пономаренко А.Г., Розанов А.Ю., Сумина Е.Л., Ушатинская Г.Т., Хувер Р., Школьник Э.Л. Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах / Ред. А.Ю. Розанов, Г.Т. Ушатинская. М.: изд. ПИН РАН, 2011. 172 с.
2. Афанасьев В.Л., Калениченко В.В., Караченцев И.Д. Обнаружение межгалактической метеорной частицы на 6-м телескопе // *Астрофиз. бюл.* 2007. Т. 62. № 4. С. 319–328.
3. Барков Н.И., Липенков В.Я. Накопление снега в районе станции Восток, Антарктида, в 1970–1992 гг. // *МГИ.* 1996. Вып. 80. С. 87–88.
4. Виленский В.Д. Сферические микрочастицы в ледниковом покрове Антарктиды // *Метеоритика.* 1972. Вып. 31. С. 57–61.
5. Грачев А.Ф., Корчагин О.А., Цельмович В.А., Коллманн Х.А. Космическая пыль и микрометеориты в переходном слое глины на границе мела и палеогена в разрезе Гамс (Восточные Альпы): морфология и химический состав // *Физика Земли.* 2008. № 7. С. 42–57.
6. Гринберг Дж.М. Межзвездная пыль: Строение и эволюция // *В мире науки.* 1984. № 8. С. 66–77.
7. Розанов А.Ю. Псевдоморфозы по микробам в метеоритах // *Проблемы происхождения жизни.* М.: изд. ПИН РАН, 2009. С. 158–165.
8. Цельмович В.А. Новые и перспективные возможности микронного анализа в геофизической обсерватории «Борок» // *Вестн. ОНЗ РАН.* 2010. Т. 2. NZ6030.
9. Belbruno E., Moro-Martín A., Malhotra R., Savransky D. Chaotic exchange of solid material between planetary systems: implications for lithopanspermia // *EPSC abstracts.* 2012. V. 7. EPSC2012–139.
10. Bennett V.C. Probing the Mantle Past // *Science.* 2012. V. 335. P. 1051–1052.
11. Bradley J.P. Chemically anomalous, preaccretionally irradiated grains in interplanetary dust from comets // *Science.* 1994. V. 265. P. 925–929.
12. Britt D.T., Consolmagno G.J. Meteorite porosities and densities: a review of trends in the data // *Lunar and Planetary Science.* 2004. Т. XXXV. P. 2108.
13. Delmonte B., Petit J.R., Andersen K.K., Basile-Doelsch I., Maggi V., Lipenkov V.Ya. Dust size evidence for opposite regional atmospheric circulation changes over east Antarctica during the last climatic transition // *Climate Dynamics.* 2004. 23. P. 427–438.
14. Dobrica E., Engrand C., Leroux H., Rouzaud J.-N., Duprat J. Transmission Electron Microscopy of CONCORDIA UltraCarbonaceous Antarctic MicroMeteorites (UCAMMs): Mineralogical properties // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 2012. V. 76. P. 68–82.
15. Dunlop J.S. The Cosmic History of Star Formation // *Science.* 2011. V. 333. P. 178–181.
16. Duprat J., Engrand C., Maurette M., Kurat G., Gounelle M., Hammer C. Micrometeorites from Central Antarctic snow:

- The Concordia collection // *Advances in Space Research*. 2007. V. 39. P. 605–611.
17. *Ekaykin A.A., Lipenkov V.Ya., Kuzmina I.N., Petit J.R., Masson-Delmotte V., Johnsen S.J.* The changes in isotope composition and accumulation of snow at Vostok station, East Antarctica, over the past 200 years // *Annals of Glaciology*. 2004. V. 39. № 1. P. 569–575.
 18. *Fortman S.M., McMillan J.P., Neese C.F., Randall S.K., Remijan A.J., Wilson T.L., De Lucia F.C.* An analysis of a preliminary ALMA Orion KL spectrum via the use of complete experimental spectra from the laboratory // *Journ. of Molecular Spectroscopy*. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jms.2012.08.002>.
 19. *Genge M.J., Engrand C., Gounelle M., Taylor S.* The classification of micrometeorites // *Meteoritics and Planetary Science*. 2008. V. 43. № 3. P. 497–515.
 20. *Genge M.J., Grady M.M., Hutchison R.* The textures and compositions of fine-grained Antarctic micrometeorites – Implications for comparisons with meteorites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1997. V. 61. P. 5149–5162.
 21. *Grün E., Gustafson B.A.S., Dermott S.F., Fechtig H.* (Eds.). *Interplanetary Dust*. Berlin: Springer. 2001. 804 p.
 22. *Harrison T.M., Blichert-Toft J., Müller W., Albarede F., Holden P., Mojzsis S.J.* Heterogeneous Hadean Hafnium: Evidence of Continental Crust at 4.4 to 4.5 Ga // *Science*. 2005. V. 310. P. 1947–1950.
 23. *Hezel D.C., Russell S.S., Ross A.J., Kearsley A.T.* Modal abundances of CAIs: Implications for bulk chondrite element abundances and fractionations // *Meteoritics et Planetary Science*. 2008. V. 43. P. 1879–1894.
 24. *Kalirai J.S.* The age of the Milky Way inner halo // *Nature*. 2012. V. 486. P. 90–92.
 25. *Kurat G., Koeberl C., Presper T., Franz B., Maurette M.* Petrology and geochemistry of Antarctic micrometeorites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1994. V. 58. P. 3879–3904.
 26. *Kwok S., Zhang Y.* Mixed aromatic–aliphatic organic nanoparticles as carriers of unidentified infrared emission features // *Nature*. 2011. V. 479. P. 80–83.
 27. *Lanci L., Kent D.V., Biscaye P.E.* Meteoric smoke concentration in the Vostok ice core estimated from superparamagnetic relaxation and some consequences for estimates of Earth accretion rate // *Geophys. Research Letters*. 2007. V. 34. L10803.
 28. *Mumma M.J., Dello Russo N., Di Santi M.A., Magee-Sauer K., Novak R.E., Brittain S., Rettig T., McLean I.S., Reuter D.C., Xu Li-H.* Organic Composition of C/1999 S4 (LINEAR): A Comet Formed Near Jupiter? // *Science*. 2001. V. 292. P. 1334–1339.
 29. *Plane J.M.C.* Cosmic dust in the earth's atmosphere // *Chemical Society Reviews*. 2012. DOI:10.1039/c2cs35132c.
 30. *Seife C.* Illuminating the Dark Universe // *Science*. 2003. V. 302. P. 2038–2039.
 31. *Stark D.* Searching for the cosmic dawn // *Nature*. 2012. V. 489. P. 370–371.
 32. *Whipple F.L.* The theory of micrometeorites. Part II. In heterothermal atmospheres // *Proc. of the National Academy of Sciences*. 1951. V. 37. P. 19–30.
 33. *Zheng W., Postman M., Zitrin A., Moustakas J., Shu X., Jouvel S., Høst O., Molino A., Bradley L., Coe D., Moustakas L.A., Carrasco M., Ford H., Benitez N., Lauer T.R., Seitz S., Bouwens R., Koekemoer A., Medezinski E., Bartelmann M., Broadhurst T., Donahue M., Grillo C., Infante L., Jha S.W., Kelson D.D., Lahav O., Lemze D., Melchior P., Meneghetti M., Merten J., Nonino M., Ogaz S., Rosati P., Umetsu K., van der Wel A.* A magnified young galaxy from about 500 million years after the Big Bang // *Nature*. 2012. V. 489. P. 406–408.

Summary

During the 2010/11 season nearby the Vostok station the 56th Russian Antarctic Expedition has collected surface snow in a big amount from a 3 m deep pit using 15 220 L vol. containers (about 70 kg snow each). Snow melting and processing by ultra-centrifugation was performed in a clean (class 10 000 and 100) laboratory. Total dust concentrations were not exceeded 37.4 mkg per liter with particle dispersal mode around 2.5 mkm. To analyze the elemental composition of fine dust particles aimed to reveal Antarctic micrometeorites (AMM) two electron microscopy devices equipped with different micro-beams were implemented. As a preliminary result, three particles (of 107 analyzed) featured by Mg content clearly dominated over Al along with Si and Fe as major elements (a feature of carbonaceous chondrites) were observed. By this the Vostok AMM CS11 collection was established. The occurrence of given particles was averaged 2.8% – the factual value obtained for the first time for chondritic type AMM at Vostok which should be considered as the lowest estimate for all other families of AMM. Given the reference profile of total dust content in East Antarctic snow during Holocene (18 mkg/kg) the MM deposition in Antarctica was quantified for the first time – 14 tons per day for carbonaceous chondrites for the Vostok AMM CS11 collection and up to 245 tons per day for all MM types for the Concordia AMM DC02 collection. The results obtained allowed to prove that snow cover (ice sheet in total) of Central East Antarctica is the best spot (most clean of other natural locations and always below 0 °C) for collecting native MM deposited on the Earth during the last million years and could be useful in deciphering the origin and evolution of solid matter in our Solar System and its effects on Earth-bound biogeochemical and geophysical processes including the life origin. The farther analyses of the Vostok AMMs are in a progress.