

УДК 523.161

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ПО ТОРФЯНЫМ ОТЛОЖЕНИЯМ

© 2019 г. В. А. Цельмович^{1*}, А. Ю. Куражковский^{1**}, А. Ю. Казанский²,
А. А. Щетников^{3,4}, Т. А. Бляхарчук⁵, Д. А. Филиппов⁶

¹Геофизическая обсерватория «Борок»,
филиал Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, п. Борок (Ярославская обл.), Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

³Институт земной коры Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия

⁴Институт геохимии Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия

⁵Институт мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения РАН, г. Томск, Россия

⁶Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок (Ярославская обл.), Россия

*E-mail: tselm@mail.ru

**E-mail: ksasha@borok.yar.ru

Поступила в редакцию 31.10.2017 г.

Принята в печать 21.11.2018 г.

Исследованы керны торфяных отложений, отобранных в различных климатических зонах. Петромагнитным и микрозондовым методами проведен поиск горизонтов торфа, обогащенных космической пылью. Обнаружено, что поведение остаточной намагниченности насыщения — SIRM (Saturation Isothermal Remanent Magnetization) торфяных отложений из зон, в которых эоловый перенос терригенных частиц пренебрежимо мал, можно использовать для исследования динамики поступления космогенного вещества на земную поверхность. Интенсивность поступления космической пыли можно условно разделить на фоновую и всплесковую. При этом интенсивность фонового поступления космической пыли изменяется циклически. Характерные времена этих циклов около 100 лет. Наиболее явно цикличность в фоновом поступлении космогенного материала проявлялась в интервале 1200–500 лет тому назад. Наиболее значительный всплеск поступления космогенного вещества (на порядок выше фона) зафиксирован в горизонте, образовавшемся около 5000 лет тому назад. Микрозондовыми исследованиями обнаружено, что минералогический состав космической пыли при фоновом и всплесковом поступлении различается.

Ключевые слова: космическая пыль, микрометеориты, торф, голоцен

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002-333720193150-160>

ВВЕДЕНИЕ

Из астрономических наблюдений известно о неравномерности распределения пылевого вещества как в галактиках, так и в солнечной системе. Исследования древних отложений показали, что в ходе геологического времени это вещество поступало на земную поверхность также неравномерно [Alvarez et al., 1980; Грачев, 2010]. Существует гипотетическая возможность влияния вариаций поступления космогенного вещества на поведение биоты и климата

[Вернадский, 1941]. При этом фактический материал для проверки подобных предположений пока не получен.

Поиск, отбор и исследование мелкодисперсных космогенных частиц, в основном, проводится либо в связи с изучением космической пыли, поступающей на Землю в настоящее время, либо с известными событиями прошлого, например, Тунгусской и мел-палеогеновой катастрофами [Львов, 1967; Голенецкий, Степанюк, 1980; Бояркина, 1983; Васильев, 1986; Grachev et al., 2005; Колесников, Колесникова, 2010; Luigi,

Carole, 2015; Carrillo-Sánchez et al., 2016]. Так, повышенная концентрация космогенных частиц в отложениях границы мела-палеогена обычно связывается с катастрофическим импактным событием [Alvarez et al., 1980]. В то же время связь между другими известными импактными событиями палеогена и количеством космогенного материала в морских отложениях не всегда удается обнаружить. Динамика поступления космогенного вещества на земную поверхность не исследована даже в ближнее геосторическое время. Это связано с тем, что в качестве наиболее перспективных объектов для таких исследований рассматривались донные (в основном океанские абиссальные) отложения [Печерский и др., 2015], а также ледниковые толщи, образовавшиеся в приполярных и антарктических районах [Khisina et al., 2016; Genge et al., 2018]. При этом количество космогенного материала в образцах этих отложений связано как с интенсивностью его поступления на земную поверхность, так и с вариациями скорости осадконакопления, особенностями латерального переноса, дифференциацией частиц по размерам и плотности в ходе седиментогенеза, в том числе с «проваливанием» железистых частиц в толщу льда. Интенсивность поступления атмосферных осадков (которые определяют скорость роста ледников) и скорость накопления отложений в абиссальных областях океанов различаются на много порядков, составляя от сотен миллиметров до тысячных долей миллиметра в год соответственно. В связи с этим концентрация космогенных частиц в ледниковых отложениях обычно мала. Количества минеральных частиц, которые удается обнаружить в пробах льда и снега, обычно бывает недостаточно для суждения о динамике его поступления на земную поверхность [Булат и др., 2012]. Концентрация космогенных частиц в отложениях абиссальных областей океанов, которые в основном состоят из кремнистого биогенного материала [Страхов, 2008], достаточно высокая [Печерский и др., 2015]. Но, как показал опыт палеомагнитных исследований [Петрова, 1998], низкая скорость их накопления обычно не позволяет разрешать события, происходящие с характерными временами меньше нескольких тысяч лет.

По-видимому, перспективным объектом для исследования вариаций поступления космогенного вещества на земную поверхность в голоцене могут быть отложения верховых торфяных болот, образовавшихся в условиях гумидного климата на большом удалении от зон активного тектогенеза и эксплозивного магматизма.

Попытки поиска космогенного материала, попавшего в торфяные толщи в связи с известными катастрофическими событиями недавнего прошлого (например, Тунгусским событием), уже предпринимались [Колесников, Колесникова, 2010].

В настоящей работе нами впервые предпринята попытка исследования динамики поступления космогенного пылевого вещества на земную поверхность по торфяным отложениям голоцена. При этом проводилось исследование связи минералогического состава космогенного вещества с интенсивностью его поступления на земную поверхность.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА

На данном этапе исследований нас интересовали изменения количества поступления мелко-го (пылевого и микрометеорного) космогенного вещества на земную поверхность. В связи с этим мы пока не проводили разделение этого вещества на пылевое и микрометеорное. Используемый нами микроанализатор «Тескан Вега 2» позволял исследовать частицы от субмиллиметровых до субмикронных размеров. Далее такие частицы рассматривались нами как пылевые.

Традиционно предполагается, что магнетитовые микросферы, частицы чистого железа, никеля, интерметаллидов, обнаруживаемые в осадочных породах, имеют космическое происхождение [Grachev et al., 2005; Печерский и др., 2015; Luigi, Carole, 2015]. В тех же работах показано, что подобные частицы могут образоваться и в земных условиях при эксплозивном и базальтовом магматизме, а также синтезироваться в глубинных разломах [Новгородова и др., 2003; Адушкин, Попель, 2012;]. Таким образом, определить генезис частиц железа, магнетитовых микросфер и интерметаллидов бывает достаточно сложно. Тем не менее, в работе [Печерский и др., 2018] было показано, что распределение частиц космогенного железа в осадочных толщах обладает рядом особенностей. Так, концентрация частиц космогенного железа зависит от скорости осадконакопления. При этом отсутствует корреляция между концентрациями металлического железа и такими заведомо земными минералами, как титаномагнетиты и маггемиты. Кроме того, было обнаружено, что распространение частиц самородных металлов очень ограничено в пространстве от мест их образования.

В ходе настоящего исследования мы проводили поиск торфяных толщ, в которые (из-за их географического расположения) крайне мала вероятность поступления частиц терригенных минералов.

Для предположения о перспективности использования торфяных толщ верховых болот при изучении вариаций поступления космической пыли на Землю имеются следующие основания:

1. В верховых торфяных болотах практически отсутствует горизонтальный перенос частиц минерального вещества, т. е. частицы, попавшие на поверхность торфа, фиксируются в месте своего падения. Это позволяет обнаруживать изменения количества минеральных частиц, поступающих на единицу площади земной поверхности во время торфонакопления.

2. Скорость торфонакопления в основном составляет порядка 1 мм/год (все исследованные нами торфяные толщи, образовавшиеся в голоцене, имели мощность порядка несколько метров). Следовательно, при отборе образцов через 1–2 см имеется возможность изучать «короткопериодические» вариации поступления космического вещества с характерными временами 10–100 лет, что соизмеримо с точностью радиоуглеродных датировок.

3. Торфяные толщи верховых болот формировались на водоразделах в тектонически спокойных регионах на большом удалении от зон проявлений эксплозивного магматизма. Это делает маловероятным попадание в них минералов, образовавшихся вследствие эксплозивного магматизма и в зонах глубинных разломов.

Поскольку критерии выбора торфяных толщ для изучения вариаций поступления космического вещества пока только формируются, мы исследовали керны торфяных отложений, отобранных в различных климатических зонах. В таблице приведены сведения о местах отбора кернов, мощности исследованных толщ — H , плотности торфа — ρ , средних значениях величины остаточной намагниченности насыщения — SIRM (Saturation Isothermal Remanent Magnetization) и климатическом показателе — k , в качестве которого использован коэффициент увлажнения (отношение среднегодового количества осадков к испаряемости). По образцам ряда горизонтов отложений болота Селенга и Тундра в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН проведены радиоуглеродные датировки. Кроме того, относительный возраст исследуемых образцов определяется их расположением в отобранных кернах.

В ходе лабораторных исследований керны торфа разделялись на шайбы толщиной 1–2, редко 5 см. Эти шайбы высушивались, измельчались и помещались в кубические пластиковые контейнеры с ребром 2 см. Затем определялась их плотность — ρ и SIRM. Кроме того, по керну из разреза Тундра определялась зольность торфа — A . Этот параметр изменяется в зависимости от количества минерального вещества в образцах. Далее из образцов торфа проводилась сепарация частиц, обладающих остаточной намагниченностью. С помощью микроанализатора определялся размер, состав и предположительный генезис минеральных частиц, полученных в результате сепарации.

Таблица. Данные об исследованных торфяных толщах

Болота	Координаты	H , м	n	SIRM, 10^{-1} А/м	ρ , г/см ³	k
Горка (Вологодская обл.)	58° с. ш. 33° в. д.	2.2	44	0.15	0.83	1.7
Тундра (Кемеровская обл.)	55° с. ш. 88° в. д.	2.6	131	0.28	0.86	1.2
Селенга (Бурятия)	52° с. ш. 106° в. д.	3.15	324	0.36	0.84	0.75
Дулиха (Бурятия)	51° с. ш. 105° в. д.	3.47	154	0.72	0.85	0.75

Примечание: H — мощность торфяной толщи, n — количество исследованных горизонтов, SIRM — среднее значение величины остаточной намагниченности насыщения, ρ — среднее значение плотности образцов, k — среднегодовой коэффициент увлажнения в зоне отбора образцов торфа.

ИЗМЕНЕНИЯ SIRM ПО МОЩНОСТИ ТОРФЯНЫХ ТОЛЩ

Как видно из таблицы, исследуемые торфяные толщи имели схожие мощности, а исследуемые образцы — примерно одинаковую плотность. Средние значения SIRM зависели от географической широты мест отбора и уменьшались в соответствии с ростом гумидности зон, в которых формировались торфяные толщи. Это связано с тем, что при росте среднегодовых увлажнений вероятность эолового переноса терригенных частиц уменьшается. Однако следует отметить, что на ранних (переходных от озерных к болотным) стадиях существования верховых болот повышенное увлажнение могло способствовать водному переносу терригенного материала.

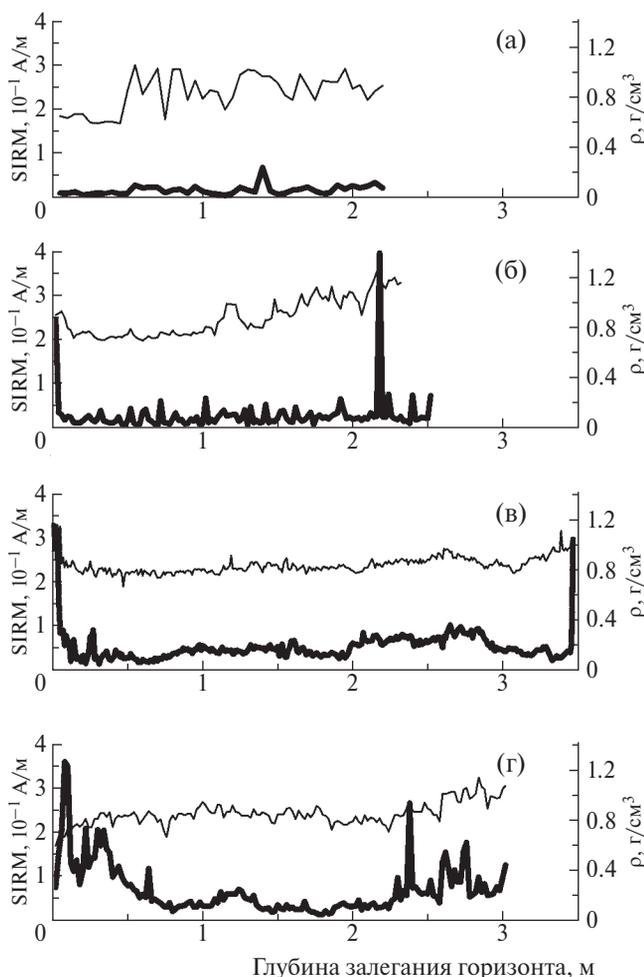


Рис. 1. Изменения плотности ρ (тонкая линия), величины SIRM (жирная линия) образцов, отобранных в торфяных толщах болот Горка (а), Тундра (б), Селенга (в) и Дулиха (г).

На рис. 1 показано поведение SIRM и плотности ρ образцов исследованных торфяных отложений. Как видно из этого рисунка, SIRM образцов из верхних частей кернов (2–10 см) имеют повышенные значения (в керне болота Горка верхние горизонты отсутствуют). Микроанализ показал, что высокие значения SIRM образцов из верхних частей кернов связаны с современным техногенным загрязнением. В средних частях кернов значения SIRM обычно меньше, чем в верхних и нижних горизонтах. В этих частях кернов обнаруживаются циклические изменения SIRM, которые связаны с вариациями поступления терригенных (рис. 1в), либо космогенных (рис. 1б) минералов. Нижние горизонты, которые формировались на ранней стадии торфонакопления, обогащены терригенным обломочным материалом (минералами титаномагнетитового и ильменитового ряда) и имели относительно высокие значения SIRM. Таким образом, высокая намагниченность нижних и верхних горизонтов исследуемых отложений обычно не связана с поступлением космогенного вещества на земную поверхность. В ряде случаев между поведением SIRM и ρ может обнаруживаться подобие. Например, в керне отложений болота Селенга, в котором на поведение этих параметров оказывает влияние наличие терригенного минерального вещества.

Как видно из таблицы, намагниченность отложений убывает с ростом географической широты мест отбора кернов и по мере их удаления от областей с низким увлажнением, в которых эоловый перенос терригенного материала значительно влияет на поведение SIRM. Результаты исследования, проведенные с помощью микроанализатора, показали, что поведение SIRM образцов торфа из болот гумидной зоны (Горка и Тундра, рис. 1а, 1б) определяются в основном наличием космогенных частиц. Таким образом, изменения SIRM по мощности торфяных толщ, образовавшихся в зонах с высоким увлажнением, могут характеризовать вариации поступления космогенного вещества на земную поверхность. В образцах из болот Селенга и Дулиха (рис. 1в, 1г) в значительном количестве присутствуют частицы терригенных обломочных минералов. В связи с этим исследовать динамику поступления космогенного вещества с использованием подобных осадочных толщ значительно сложнее, чем по отложениям, сформировавшимся в зонах более высокого увлажнения.

Предварительные исследования показали, что наиболее удобным объектом для изучения вариаций поступления космогенного вещества являются отложения болота Тундра. На рис. 2а приведены результаты определений ρ , A и SIRM образцов из керна, отобранного в болоте Тундра. Как показал микроанализ, значения SIRM, в основном, связаны с количеством космогенного минерального вещества в исследуемых образцах. На уменьшение параметров ρ и A от нижних горизонтов к верхним в значительной степени повлияло изменение биоты. Так, поведение ρ и A на начальной (минеротрофной) и последующей (олиготрофной) стадиях торфонакопления различаются (рис. 2а). К олиготрофной стадии относятся в данном случае верхние 1.3 м торфяной толщи.

В поведении SIRM можно обнаружить вариации, в ходе которых ее значения изменялись в несколько раз (горизонты 0.2–2 м). Условно можно выделить минимально низкие значения SIRM (практически не меняющиеся по мощности толщи), составляющие около $0.12 \cdot 10^{-1}$ А/м и относительно высокие, при которых значения этого параметра достигали $(0.4–0.7) \cdot 10^{-1}$ А/м. Поскольку количество терригенных частиц

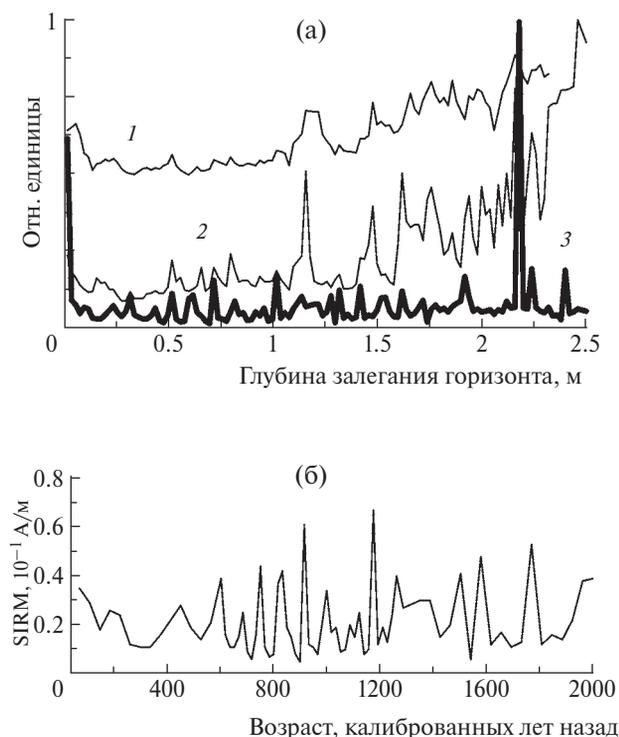


Рис. 2. (а) — Относительные изменения ρ (кривая 1), A (кривая 2) и SIRM (кривая 3) по мощности торфяной толщи; (б) — изменения SIRM в ходе олиготрофной стадии эволюции болота Тундра.

в этих отложениях ничтожно мало, то можно предположить, что количество космогенного материала в исследуемых образцах изменяется в соответствии с изменениями SIRM. Как видно из рис. 2а, в поведении SIRM обнаруживается квазипериодичность или цикличность. Судя по результатам радиоуглеродных датировок, характерные времена между возрастаниями SIRM составляли около 100 лет (рис. 2б). Наиболее явно эти вариации SIRM имели место в интервале 1200–300 лет тому назад.

В горизонте торфа, сформировавшемся около 5000 лет тому назад (рис. 1б, горизонт 2.18 м) обнаружен самый значительный всплеск SIRM (порядка 0.4 А/м). Этот всплеск SIRM также связан с повышенным количеством космогенных минералов. Вероятно, 5000 лет тому назад в этом районе произошло самое интенсивное (за время накопления торфяной толщи) выпадение космогенного материала. Похожий всплеск SIRM, при котором также многократно повышалась концентрация космогенных частиц, имел место и в нижней части керна, отобранного в разрезе Дулиха в горизонтах (2.30–2.34) м (рис. 1г).

Интенсивность поступления космогенного вещества можно условно разделить на относительно низкую — фоновую и всплесковую. В связи с фоновым поступлением космической пыли SIRM образцов торфа может меняться в пределах $(0.12–0.7) \cdot 10^{-1}$ А/м. Подобные вариации SIRM трудно обнаружить по образцам торфа, имеющим более высокие значения величины остаточной намагниченности насыщения, которая связана с наличием терригенного материала. Во время всплесков поступление космогенного вещества многократно возрастает. При всплесках значения SIRM могут достигать 0.4 А/м. Подобные возрастания количества космогенного материала обнаруживаются даже при наличии в образцах торфа терригенных минералов. Далее в ходе микронзондовых исследований мы попытались определить различия в составе космогенного вещества, связанного с интенсивностью его поступления на земную поверхность.

Обнаруженные вариации фонового поступления космогенного вещества могут иметь глобальный характер. Однако это предположение должно быть проверено в ходе исследования других торфяных толщ, образовавшихся в условиях гумидного климата.

ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА КОСМОГЕННОГО ВЕЩЕСТВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ЕГО ПОСТУПЛЕНИЯ

Микронзондовый анализ образцов с низкими значениями SIRM $(0.12-0.7) \cdot 10^{-1}$ А/м показал, что в них практически отсутствуют обломочные частицы терригенных магнитных минералов (титаномагнетитов, ильменитов). При этом были обнаружены частицы, предположительно, космогенного вещества: магнетитовые (Mt) микросферы с детритовой поверхностью, железо Fe, никель Ni, вольфрам W и ряд интерметаллидов (FeCr, FeW). Основное вещество, способное приобретать остаточную намагниченность, представлено Mt-микросферами и самородным Fe.

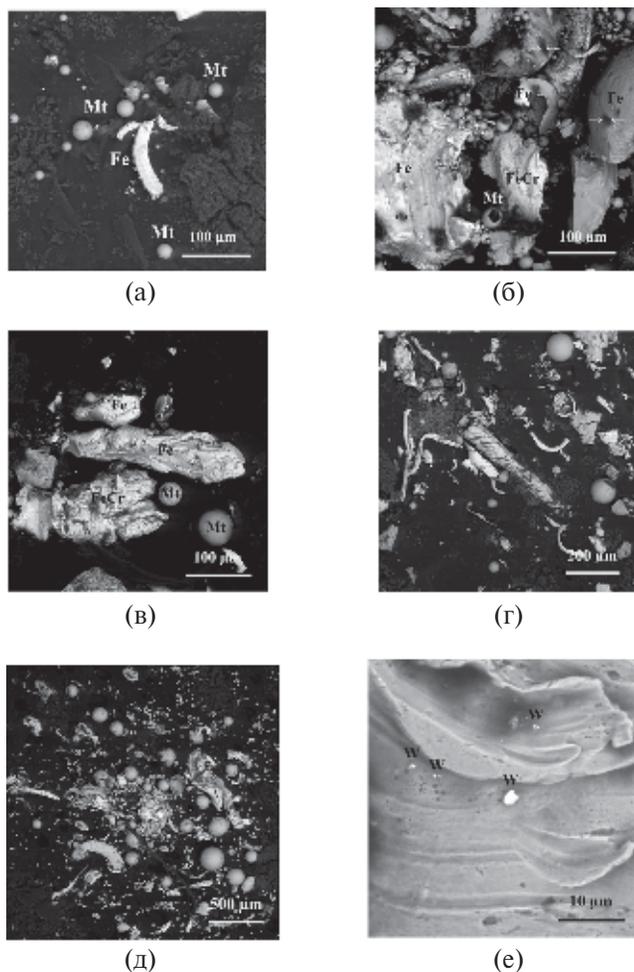


Рис. 3. Частицы из образцов с низкими значениями SIRM $(0.12-0.7) \cdot 10^{-1}$ А/м из разреза Тундра: (а) – горизонт 50 см: Mt, Fe; (б) – горизонт 60 см: Mt, Fe, FeCr; (в) – горизонт 70 см: Mt, Fe, FeCr; (г) – горизонт 100 см: Mt, Fe, FeCr; (д) – горизонт 120 см: Mt, Fe, FeCr; (е) – горизонт 120 см: W на Fe.

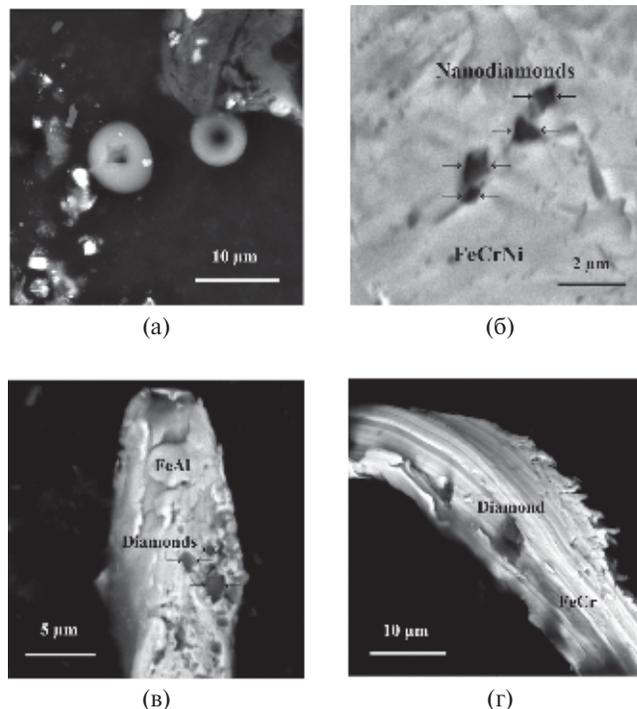


Рис. 4. (а) – Углеродистые микросферы; (б) – наноалмазы в частице сплава FeCrNi; (в) – наноалмазы в сплаве FeAl; (г) наноалмазы в сплаве FeCr.

Рис. 3 иллюстрирует состав космогенных частиц из горизонтов, в которых значения SIRM изменяются в пределах $(0.12-0.7) \cdot 10^{-1}$ А/м. Явных различий между минералогическим составом частиц этих горизонтов мы не обнаружили.

При возрастании SIRM до всплесковых значений $(0.3-0.4)$ А/м в горизонтах 2.18 м (разрез Тундра) и 2.30–2.34 м (разрез Дулиха) имел место рост разнообразия космогенных минералов. В образцах этих горизонтов обнаружены: когениит, углеродистые микросферы, наноалмазы (рис. 4а–4г), самородные металлы и интерметаллиды, Sn, Zn, CuZn, FeCrNi, наночастицы W на FeCr микросфере, камасит FeNi, Mt микросфера, (рис. 5а–5е), Ni в виде чешуйки, Ni в виде трубки (рис. 6а, 6б). Кроме этого, имелись пленочные структуры, которые могли возникнуть при импакте, например, пленки Fe, которые в результате термического процесса оказались нанесенными на терригенный материал (рис. 6в) и алюмосиликатная микросфера с выделениями магнетита (рис. 6г), а также пленки Ni (рис. 7а, 7б) на палочке из SiO₂, обнаруженные в разрезе Тундра.

Таким образом, обнаруживаются явные различия в составе космогенного вещества,

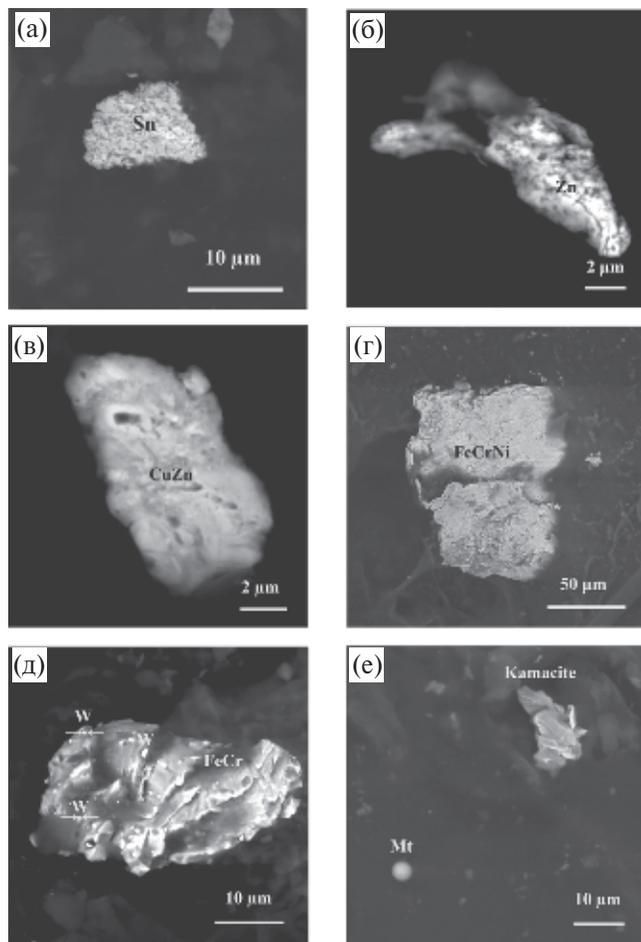


Рис. 5. Самородные металлы и интерметаллиды: (а) Sn; (б) Zn; (в) CuZn; (г) FeCrNi; (д) W на FeCr; (е) камасит FeNi и Mt-микросфера.

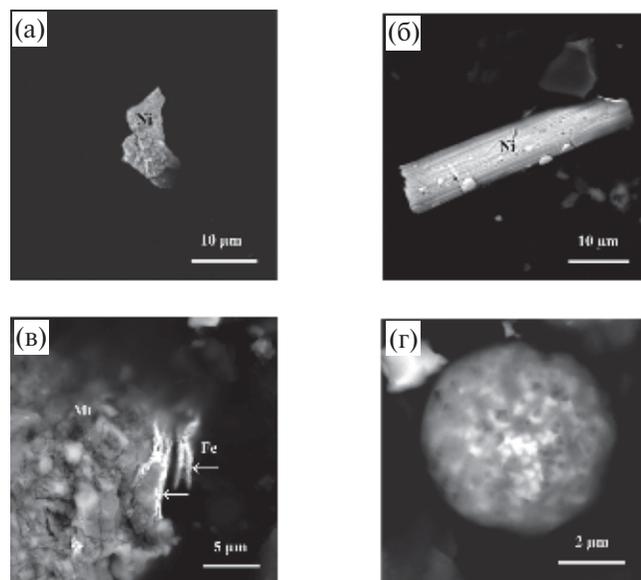


Рис. 6. (а) – Ni-чешуйка; (б) – Ni-цилиндр; (в) – пленки Fe на массивном Mt; (г) – алюмосиликатная микросфера с выделениями Mt.

поступающего на земную поверхность непрерывно и во время всплесков. Вероятно, источники фонового и всплескового поступления космической пыли различаются.

ОБСУЖДЕНИЕ

Вопрос о различиях космогенного и терригенного вещества, обнаруживаемого в осадках, является предметом многолетних дискуссий и достаточно подробно обсуждается в работе [Грачев, 2010]. Действительно, ряд минералов, таких как магнетитовые шарики, частицы чистого железа и никеля, могут иметь как земное, так и космическое происхождение. При этом надо отметить, что частицы железа и никеля крайне редко удается обнаружить в магматических породах [Печерский и др., 2015; 2017; 2018]. Магнетитовые шарики размером порядка 10 мкм, которые образовались в результате взрывных процессов, в основном, оседают вблизи областей активного магматизма. Найденные нами в торфяниках из различных мест и на разной глубине, схожие по составу и морфологии микроразмерные (100–300 мкм) частицы железа и сплава железа с хромом могут иметь только космическое происхождение. Этот факт согласуется с выводами о скорости осаждения крупных частиц, сделанными в работе [Адушкин, Попель, 2012], и отсутствию действующих вулканов вблизи изученных торфяников. При этом даже в отложениях, формирующихся в зонах активного магматизма, основными носителями намагниченности обычно являются обломочные терригенные минералы [Минюк и др., 2011]. Практика палеомагнитологических исследований показала, что остаточная намагниченность, как магматических, так и осадочных пород, в основном, определяется наличием частиц титаномагнетитов, ильменитов и сульфидов железа [Храмов и др., 1982]. Таким образом, если остаточная намагниченность отложений, в основном, определяется наличием частиц железа, никеля и магнетитовых шариков, то с большой вероятностью можно предположить их космический генезис.

Методы исследования космогенных событий по торфяным отложениям в настоящее время окончательно не сформировались. Так, известен ряд способов, позволяющих обнаруживать горизонты, обогащенные минеральными частицами в торфяных толщах [Львов, 1967; Голенецкий, Степанюк, 1980; Бояркина, 1983; Васильев, 1986]. Это – измерения магнитной восприимчивости, плотности и зольности образцов

торфа. На рис. 2а приведено сравнение изменений SIRM, ρ и A по мощности торфяной толщи болота Тундра. Как видно из рис. 2а, в поведении этих параметров имеются существенные различия. Так, зольность и плотность образцов уменьшаются от нижних горизонтов к верхним. В изменениях SIRM подобная тенденция отсутствует. В то же время наиболее значительный всплеск SIRM совпадает с повышениями значений ρ и A . Кроме того, ряд подобных совпадений можно обнаружить и в верхней части керна. Историю торфонакопления болота Тундра, в соответствии с биотическими изменениями, можно разбить на две стадии – минеротрофную (7000–1200 лет) и олиготрофную (1200 лет–современность). Во время минеротрофной стадии растительный покров болота отличался значительным видовым и ценотическим разнообразием по сравнению с олиготрофной стадией. Поведение параметров ρ , A и SIRM отложений, сформировавшихся во время минеротрофной стадии, существенно различается. В отложениях, соответствующих олиготрофной стадии, в поведении A и SIRM появляется подобие.

Вероятно, все перечисленные способы можно использовать для поиска горизонтов, обогащенных космогенным веществом. При этом следует отметить, что наиболее значимо присутствие космической пыли влияет на поведение SIRM. В соответствии с увеличением количества космогенных частиц его значения могли возрасти на порядок. Параметры ρ и A могли увеличиваться в 1.3 и 3 раза, соответственно. Следует отметить, что на поведение ρ и A оказывают влияние не только пылевые частицы минерального вещества, но и изменения биоты. Наиболее значимые биотические изменения произошли при переходе от минеротрофной стадии к олиготрофной.

Измерения магнитной восприимчивости также достаточно часто используются при изучении динамики поступления ферромагнитных минералов в современные и древние отложения. Однако на поведение магнитной восприимчивости может оказывать значительное влияние присутствие мелких суперпарамагнитных частиц, идентификация которых (из-за малых размеров) не может быть осуществлена с помощью микрозонда. Таким образом, по нашему мнению, для поиска горизонтов, обогащенных космогенным веществом, лучше использовать измерения SIRM.

На основе изученных кернов можно сформулировать требования к подробности отбора

образцов при исследовании вариаций поступления космогенного вещества на земную поверхность. Так, расстояние между исследуемыми горизонтами должно составлять 1–2 см. Как видно из рис. 2, мощностные интервалы между соседними максимумами SIRM в среднем составляют около 10 см. Уменьшение подробности отбора может значительно влиять на форму кривой, характеризующей динамику поступления космической пыли. Это видно из различий между динамикой SIRM, полученной по отложениям болот Горка и Тундра. Кроме того, при менее подробном отборе свидетельства космогенных событий могут быть пропущены.

Средние значения SIRM не должны быть высокими (не более $0.3 \cdot 10^{-1}$ А/м). Более высокие значения SIRM обычно связаны с наличием терригенных минералов. SIRM отложений, сформировавшихся в зонах, в которых эоловый перенос значим (рис. 1в, 1г), во многом, определяется наличием терригенных частиц. Поведение SIRM этих отложений связано с климатическими изменениями. Тем не менее, даже на этом фоне высокие всплески SIRM позволяют обнаруживать свидетельства экстраординарных космогенных событий. Так, в горизонтах (2.30–2.34) м (рис. 1г) обнаруживается всплеск SIRM, который связан с повышенным содержанием космической пыли.

На данном этапе работы трудно сделать заключение о причинах квазипериодических (с периодом около 100 лет) повышениях поступления космической пыли на земную поверхность. Вероятно, в этой связи следует обратить внимание на существование вековой цикличности в активности Солнца (циклов Гляйсберга). При усилении солнечной активности может интенсифицироваться выпадение на Землю космических частиц, которые ранее накапливались внутри земной орбиты.

Резкие кратковременные (всплесковые) повышения концентрации космогенных частиц (обнаруженные в толщах болот Тундра и Селенга) могут быть связаны с импактными событиями. Об этом могут свидетельствовать находки цилиндров с пленками Ni, которые являются признаком высокотемпературного импактного процесса. Так, подобные структуры были найдены нами при изучении отложений Коралловой воронки, образовавшейся в районе падения Тунгусского космического тела (экспедиция В.И. Ромейко 2017 г., рис. 7в) и мха, отобранного по трассе Учурского космического тела [Амелин и др., 2017] (экспедиция И.И. Амелина

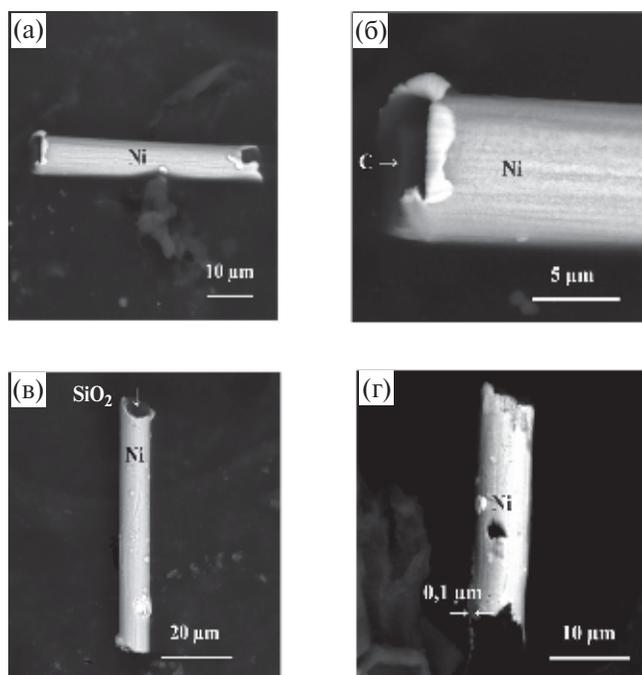


Рис. 7. (а) – Цилиндрическая Ni-пленка из торфяной толщи болота Тундра; (б) – тот же фрагмент при большом увеличении; (в) – цилиндрическая Ni-пленка из Коралловой воронки (Тунгусское космическое тело); (г) – цилиндрическая Ni-пленка из мха по трассе Учурского космического тела.

2017 г., рис. 7г). Сравнивая эти находки, можно высказать предположение о том, что во всех трех случаях мы имеем дело с импактами схожей природы. Подобные пленки могли образоваться при наплавлении Ni с высокими лиофильными свойствами на углеродистые или силикатные палочки земного происхождения. Вероятно, эти находки работают на кометную гипотезу, причем кометы были с облаками космической пыли. Версия об облаке космической пыли применительно к Тунгусскому космическому телу была выдвинута В.И. Вернадским [Вернадский, 1932].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поведение остаточной намагниченности насыщения отложений верховых торфяных болот из зон, в которых эоловый перенос терригенных частиц пренебрежимо мал, можно использовать для исследования динамики поступления космогенного пылевого вещества на земную поверхность. По отложениям болота Тундра обнаружена цикличность в поступлении космической пыли на земную поверхность. Характерные

времена этой цикличности около 100 лет. Наиболее явно цикличность в количестве поступления пылевого космогенного материала проявлялась в интервале 1200–500 лет тому назад.

В горизонте торфа, формировавшемся около 5000 лет тому назад, обнаружен экстраординарный всплеск количества космогенного вещества. Микрозондовые исследования показали, что минералогический состав космической пыли при всплесковом и фоновом поступлении различается.

Работа выполнена в рамках гос. задания «Пространственно-временная структура древнего геомагнитного поля и петрофизика магнитных минералов как индикаторов геологических и геофизических процессов», при частичной поддержке РФФИ, проекты №№ 16-05-00703а (микрозондовые исследования), 15-05-01644, и РНФ № 16-17-10079 (геохронологическое исследование торфяника).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адушкин В.В., Попель С.И. Мелкодисперсные частицы в природных и техногенных геосистемах // Физика Земли. 2012. № 3. С. 81–92.
- Амелин И.И., Гусяков В.К., Цельмович В.А., Куражковский А.Ю. Экспедиционное исследование района падения учурского метеорита. Забабахинские научные чтения: сборник материалов XIII Международной конференции 20–24 марта 2017. Снежинск: изд-во РФЯЦ – ВНИИТФ. 2017. С. 15–16.
- Бояркина А.П. Исследование соотношения космических и техногенных аэрозольных сферул в торфах. Метеоритные и метеорные исследования. Новосибирск: Наука. 1983. С. 216–222.
- Булат Е.С., Цельмович В.А., Пети Ж., Гиндилис Л.М., Булат С.А. Снежный покров Центральной Антарктиды (станция Восток) как идеальный природный планшет для сбора космической пыли: предварительные результаты по выявлению микрометеоритов типа углистых хондритов // Лед и Снег. 2012. Т. 52 (4). С. 146–152.
- Васильев Н.В. История изучения проблемы Тунгусского метеорита (1970–1980 гг.). Космическое вещество Земли / под ред. А.П. Бояркиной, Н.В. Васильев и Г.М. Иванова. Новосибирск: Наука. 1986. С. 3–34.
- Вернадский В.И. Об изучении космической пыли // Мирозведение. 1932. № 5. С. 32–41.
- Вернадский В.И. О необходимости организованной научной работы по космической пыли // Проблемы Арктики. 1941. № 5. С. 55–60.
- Голенецкий С.П., Степанюк В.В. К поискам Тунгусского космического тела. Взаимодействие метеоритного вещества с Землей / под ред. Ю.А. Долгова. Новосибирск: Наука. 1980. С. 102–114.

- Грачев А.Ф. К вопросу о природе космической пыли в осадочных породах // *Физика Земли*. 2010. № 11. С. 3–13.
- Колесников Е.М., Колесникова Н.В. Признаки кометного вещества на месте Тунгусского падения // *Астрон. вестн.* 2010. Т. 44. № 2. С. 123–134.
- Львов Ю.А. О происхождении космического вещества в торфе. Проблемы Тунгусского метеорита. Вып. 2. Томск: изд-во Томск. ун-та. 1967. С. 140–144.
- Минюк П.С., Ложкин А.В., Андерсон П. Магнитные свойства осадков Курильских озер как показатели условий осадконакопления. Материалы семинара «Палеомагнетизм и магнетизм горных пород, теория, практика, эксперимент» Борок, 22–25 октября 2009 г. /отв. ред. В.П. Щербаков. Ярославль: изд-во «Еще не поздно» ООО «Сервисный центр». 2009. С. 122–126.
- Новгородова М.И., Гамянин Г.Н., Жданов Ю.Я., Агаханов А.А., Дикая Т.В. Микросферулы алюмосиликатных стекол в золотых рудах // *Геохимия*. 2003. № 1. С. 83–93.
- Петрова Г.Н. Реальность отражения изменений палеонапряженности геомагнитного поля в палеомагнитных записях осадочных пород // *Физика Земли*. 1998. № 8. С. 23–29.
- Печерский Д.М., Кузина Д.М., Нургалеев Д.К., Цельмович В.А. Единая природа самородного железа в земных породах и метеоритах. Результаты микроразнодоного и термомагнитного анализов // *Физика Земли*. 2015. № 5. С. 140–155.
- Печерский Д.М., Кузина Д.М., Марков Г.П., Цельмович В.А. Самородное железо на Земле и в космосе // *Физика Земли*. 2017. № 5. С. 44–62.
- Печерский Д.М., Казанский А.Ю., Марков Г.П., Цельмович В.А., Щетников А.А. Редчайшее явление накопления в озерных осадках частиц металлического железа земного происхождения: Жомболокский вулканической район, Восточный Саян // *Физика Земли*. 2018. № 1. С. 113–127. DOI: 10.7868/S000233371801009 X
- Страхов Н.М. Проблемы современного и древнего осадочного процесса. Т. 1. Современные осадки морей и океанов. М.: Наука. 2008. 495 с.
- Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнитология/под ред. А.Н. Храмова. Л.: Недра. 1982. 312 с.
- Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F., Michel H.V. Extraterrestrial causes for the Cretaceous-Tertiary extinction // *Science*. 1980. V. 208. P. 1095–1108.
- Carrillo-Sánchez J.D., Nesvorný D., Pokorný P., Janches D., Plane J.M.C. Sources of cosmic dust in the Earth's atmosphere // *Geophys. Res. Lett.* 2016. V. 43. P. 11,979–11,986. doi:10.1002/2016 GL071697
- Genge M.J., Van Ginneken M., Suttle M., Harvey R. Accumulation mechanisms of micrometeorites in an ancient supra-glacial moraine at Larkman Nunatak, Antarctica // *Meteoritics and Planetary Science*. 2018-05. P. 1–16. DOI: 10.1111/maps.13107
- Grachev A.F., Korchagin O.A., Kollmann H.A., Pechersky D.M., Tselmovich 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 // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2005. V. 7. № 6. P. 1–45.
- Khisina N.R., Badyukov D.D., Wirth R. Microtexture, nanomineralogy, and local chemistry of cryptocrystalline cosmic spherules // *Geochemistry International*. 2016. V. 54 (1). P. 68–77.
- Luigi F., Carole C. Micrometeorites // *EMU Notes in Mineralogy*. 2015. V. 15. Chapter 9. P. 253–297.

Studying the Dynamics of Cosmic Dust Flux on the Earth's Surface from Peat Deposits

V. A. Tselmovich^{a,*}, A. Yu. Kurazhkovskii^{a,**}, A. Yu. Kazansky^b, A. A. Shchetnikov^{c,d},
T. A. Blyakharchuk^e, and D. A. Philippov^f

^a*Borok Geophysical Observatory, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Borok, 152742 Russia*

^b*Faculty of Geology, Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

^c*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033 Russia*

^d*Irkutsk State University Irkutsk, 66400 Russia*

^e*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Russian Academy of Sciences, Tomsk, 634055 Russia*

^f*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, 152742 Russia*

*E-mail: tselm@mail.ru

**E-mail: ksasha@borok.yar.ru

Received October 31, 2017

Peat cores sampled from different climatic zones are studied. The petromagnetic and microprobe methods are used to find peat layers enriched with cosmic dust. It is established that the behavior of saturation isothermal remanent magnetization (SIRM) of peat deposits from the zones where the aeolian transfer of terrigenous particles is negligible can be used for studying the dynamics of the fall of cosmic matter on the Earth's surface. The cosmic dust flux can be conditionally divided into the background and burst components. Here, the background flux of cosmic dust varies cyclically. The characteristic times of these cycles are about 100 years. The cyclicity in the background flux of cosmic material most clearly manifested itself in the interval of 1200 to 500 years ago. The most significant burst in the influx of cosmic material (by an order of magnitude above the background) is revealed in the layer that was formed about 5000 years ago. The microprobe studies established that the mineralogical content of cosmic dust differs between the background and burst fluxes.

Keywords: cosmic dust, micrometeorites, peat, Holocene