

УДК 621.384.62; 629.7
EDN: AIPNTO

PACS: 87.65.+y, 96.50.Pw

Параметры метеорных потоков и периодичность образования серебристых облаков в ограниченных широтах Земли

© Л. М. Василяк^{1,*}, Е. В. Шубралова², В. Н. Чикирев²¹ Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, 125412 Россия

* E-mail: vasilyak@ihed.ras.ru.

² АО Центральный научно-исследовательский институт машиностроения,
Московская обл., г. Королёв, 141070 Россия

Статья поступила в редакцию 8.04.2025; после доработки 25.04.2025; принята к публикации 2.06.2025

Шифр научной специальности: 1.3.1

На основе анализа исследований свечения метеорных потоков, зарегистрированных в международных космических экспериментах «УФ-атмосфера» с 2019 г. и «Терминатор» на Международной космической станции, сделан вывод, что присутствие непрерывно движущиеся к Земле мельчайших частиц метеорных потоков является одной из причин периодического образования серебристых облаков в ограниченных широтах Земли. Анализ показал, что количество зарегистрированных случаев свечения метеоров в УФ области спектра в атмосфере превышает стандартное расчетное зенитное часовое число потоков, а установленная непрерывность и непостоянство частиц (плотности) в потоках кометных хвостов в эпоху активности объясняет регулярность образования и изменчивость структуры серебристых облаков. Регистрация серебристых облаков подтверждает динамичность околоземного пространства.

Ключевые слова: серебристые облака; метеорные потоки; международная космическая станция.

DOI: 10.51368/1996-0948-2025-3-5-11

Введение

Научные данные, полученные на международной космической станции (МКС) в космических экспериментах (КЭ) «УФ-атмосфера» с 2019 г. по регистрации импульсов свечения входящих в атмосферу метеоров и «Терминатор» по регистрации аэрозольных слоев на высотах верхней мезосферы, могут быть использованы для анализа явлений в околоземном пространстве, например, таких как «серебристые облака». Серебристые облака [1–4] (также известны как мезосферные облака или ночные светящиеся облака) – это очень разреженные облака, возникающие в мезосфере под мезопаузой (на высоте 75–90 км) и видимые при погружении Солнца под горизонт от -4° до -16° (после полного заката, либо перед

началом рассвета) на фоне слабо освещенного неба. Серебристые облака видны в Северном полушарии на широтах от 45° до 80° с. ш. с мая по август и в Южном полушарии на широтах от 40° до 65° с декабря по февраль [2]. Тропосферные облака видны на фоне зари темными, а серебристые мезосферные облака – светлыми, так как зашедшее солнце может подсвечивать только высокие объекты. Оптическая плотность мезосферных облаков низкая, и через них видны звёзды. [4]. Серебристые облака неоднократно регистрировались на МКС.

Средняя скорость перемещения серебристых облаков в верхних слоях атмосферы велика, около 27,8 м/с, поэтому они могут быстро изменяться и проходить по небу значительное расстояние [1, 2, 4]. Средняя непре-

ривная длительность их видимости для одного пункта составляет 3–7 ночи. Зафиксированы случаи длительности более 10 ночей, например, в Московской обл. в 1977 г. – 12 ночей, в 1981 г. – 13 ночей, в 1987 г. – 22 ночи подряд; в северных районах (60° с. ш.) – 13 ночей в 1995 г. [2].

Л. А. Кулик в 1926 году предложил гипотезу образования серебристых облаков, согласно которой метеорные частицы, попавшие в атмосферу Земли, являются ядрами конденсации водяного пара [3]. В [4] приведен пример частицы льда с твердой частицей внутри, которая была выловлена мезосфере. Однако эта теория не объясняла появление серебристых облаков в ограниченном интервале высот, образование их в один и тот же период времени в одном широтном диапазоне и с характерной тонкой структурой. Данные МКС позволяют дополнить эту гипотезу. Анализ выполнен на основе данных в [1–12].

Образования серебристых облаков в результате воздействия метеороидных потоков

Анализ известных фактов наблюдений серебристых облаков и статистики по времени и координатам места их наблюдения позволяет предложить, что причиной образования серебристых облаков являются метеорные потоки кометных хвостов. Это подтверждают исследования на МКС «УФ атмосфера» и «Терминатор» по регистрации свечения входящих в атмосферу частиц регулярных метеороидных потоков кометных хвостов. Регулярность из года в год метеороидных потоков, постоянство времени действия и радианта

позволяет объяснить регулярность образования серебристых облаков в зонах действия этих потоков. Непрерывность и колебания плотности частиц потоков в эпоху активности [5] объясняют изменчивость структуры облаков. В целом такая модель позволяет объяснить:

- образование серебристых облаков в ограниченном интервале высот (мезосфере);
- регулярность наблюдения серебристых облаков в определенный период времени года в определенном широтном диапазоне (широтное-временное постоянство);
- тонкую и меняющуюся структуру облаков;
- передвижение с высокой скоростью по небу при наблюдении.

Метеороидные потоки кометных хвостов характеризуются следующими параметрами: λ – Солнечная долгота, она позволяет точно отразить положение Земли на орбите, все λ относятся к эпохе J2000.0; α , δ – координаты положения радианта, обычно во время максимума, α – прямое восхождение, δ – склонение; V – скорость входа метеоров в атмосферу; r – популяционный индекс распределения метеоров потока по яркости, при $r = 2-2,5$ яркость метеоров потока выше среднего, а если r больше 3 – слабая; ZHR – зенитное часовое число, среднее количество метеоров, которое идеальный наблюдатель увидел бы в радианте, находящемся в зените, измеряется в метеорах в час. Примеры потоков с радиантами в северных и южных широтах показаны на рисунке 1. В таблице представлены параметры тех метеорных потоков, которые могут являться причиной образования серебристых облаков, статистика которых приводится далее в статье.

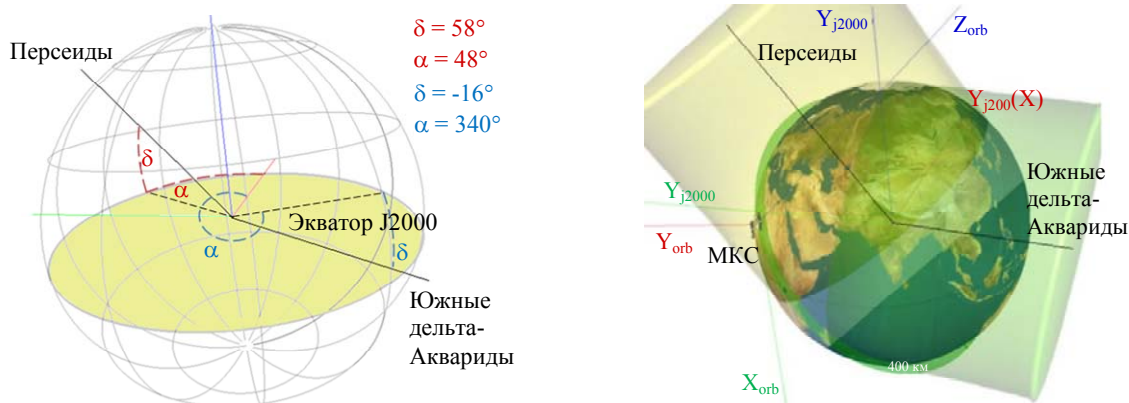


Рис. 1. Примеры потоков с радиантами в северных и южных широтах

Таблица

Параметры метеорных потоков

№ в тексте	Название потока	Эпоха активности	Максимум		Координаты радианта		V, км/с	r	ZHR
			Дата	λ	α	δ			
1	эта-Лириды	Май 03 – Май 14	Май 09	48,0°	287°	+44°	43	3,0	3
2	Июньские Боотиды	Июнь 22 – Июль 02	Июнь 27	95,7°	224°	+48°	18	2,2	Var
3	Персеиды	Июль 17 – Авг 24	Авг 12	140,0°	48°	+58°	59	2,2	150
4	каппа-Цигниды	Авг 03 – Авг 25	Авг 17	145°	286°	+59°	25	3,0	3
5	Дневные Ариетиды	Май 14 – Июнь 24	Июнь 07	76,6°	44°	+24°	38	2,8	50
6	Июньские Боотиды	Июнь 22 – Июль 02	Июнь 27	95,7°	224°	+48°	18	2,2	Var
7	Сентябрьские эpsilon-Персеиды	Сен 05 – Сен 21	Сен 09	166,7°	48°	+40°	64	3,0	5
8	Лириды	Апр 16 – Апр 25	Апр 22	32,32°	271°	+34°	49	2,1	18
9	дельта-Ауригиды	Окт 10 – Окт 18	Окт 11	198°	84°	+44°	64	3,0	2
10	Лео Минориды	Окт 19 – Окт 27	Окт 24	211°	162°	+37°	62	3,0	2
11	эта-Лириды	Май 03 – Май 14	Май 09	48,0°	287°	+44°	43	3,0	3
12	Геминиды	Дек 04 – Дек 17	Дек 14	262,2°	112°	+33°	35	2,6	120
13	Декабрьские Лео Минориды	Дек 05 – Фев 04	Дек 20	268°	161°	+30°	64	3,0	5
14	Урсиды	Дек 17 – Дек 26	Дек 22	270,7°	217°	+76°	33	3,0	10
15	Квадрантиды	Дек 28 – Янв 12	Янв 03	283,15°	230°	+49°	41	2,1	120
16	альфа-Центавриды	Янв 28 – Фев 21	Фев 08	319,2°	210°	-59°	56	2,0	6
17	гамма-Нормиды	Фев 25 – Март 28	Март 14	354°	239°	-50°	56	2,4	6
18	Фенициды	Ноя 28 – Дек 09	Дек 02	250,0°	18°	-53°	18	2,8	Var
19	Пуппиды/Велиды	Дек 01 – Дек 15	Дек 07	255°	123°	-45°	40	2,9	10
20	Южные дельта-Аквариды	Июль 17 – Авг 24	Авг 12	140,0°	48°	+58°	59	2,2	150

В экспериментах "УФ атмосфера" производилась регистрация импульсов свечения входящих в атмосферу метеоров в полосе длин волн ближнего УФ-излучения (300–400 нм) широкоугольным телескопом, который был установлен в надирной зоне МКС (угол обзора 44°) [6]. Количество зарегистрированных частиц, может достигать 250–350.

Поток "Персеиды": 21.07.2020 – 340 частиц, 22.07.2020 – 345 частиц, 13.08.2020 – 210 частиц, 14.08.2020 – 160 частиц, 20.08.2020 – 340 частиц, 21.08.2020 – 380 частиц.

Поток "Дневные Ариетиды": 25.05.2020 – 260 частиц, 26.05.2020 – 235 частиц, 15.06.2020 – 230 частиц, 16.06.2020 – 190 частиц.

Поток "Квадрантиды": 30.12.2019 – 170 частиц, 31.12.2019 – 160 частиц, 08.01.2020 – 75 частиц, 09.01.2020 – 50 частиц, 05.01.2021 –

75 частиц, 09.01.2021 – 120 частиц, 12.01.2021 – 120 частиц. Наблюдатели на Земле не увидят, возможно только с борта самолета.

Поток "Урсиды": 22.12.2020 – 310 частиц, 22.12.2023 – 55 частиц. Наблюдатели на Земле не увидят, возможно только с борта самолета.

Регистрация в надире МКС свечения значительно большего числа частиц, чем приводится в стандартных данных по зенитным часовым числам регулярных метеорных потоков может быть связано с более точной регистрацией мелких частиц, слабое свечение которые не видно с поверхности Земли на фоне шумов [5]. Результаты измерений показали динамичность околоземного пространства, присутствие непрерывно движущиеся к Земле мельчайших частиц метеорных потоков, кото-

рые создают серебристые облака, входя в верхнюю мезосферу (рис. 2).



Рис. 2. Серебристые облака и крупная частица метеороидного потока. 08 июля 2020 г., Рязанская область [13]

Это подтверждается результатами исследований КЭ «Терминатор», камерами которого в зоне лимба зарегистрированы аэрозольные слои на высотах верхней мезосферы – нижней термосферы (85–100 км) в средних широтах. Частицы метеороидных потоков кометных хвостов, входящие в атмосферу, разрушаются именно в этом диапазоне высот [7]. Наблюдаемые стационарные слоистые структуры находятся в динамическом равновесии, т. к. оседающие частицы, размер которых составляет несколько нанометров, замещаются частицами, прибывшими из метеорных потоков. Это согласуется с регистрацией телескопом в экспериментах «УФ атмосфера» свечения непрерывно движущихся к Земле мельчайших частиц метеорных потоков, создающих серебристые облака.

Статистические данные регистрации серебристых облаков

В северных широтах:

Для московской широты (55,44° с. ш.) и СПб региона (60° с. ш.) типичный период наблюдения серебристых облаков (СО) конец мая, июнь по июль (начало августа) определяется действием метеорных потоков с радиантомклонения от +44° с. ш. до +59° с. ш. (Таблица, №№ 1, 2, 3, 4, 20).

Даты регистрации серебристых облаков [1].

2003 г., июнь: 13, 14, 19, 20, 24, 25, 26, 27, 28.

2004 г.: июнь – 07, 08, 09, 11, 15, 17, 18, 20, 22, 25, 27, 29, 30; июль – 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 14, 15, 17, 18, 19, 20; август – 12, 15.

2005 г.: май 2005 г. – 25; июнь – 01, 11, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30; июль – 01, 02, 03, 04, 05, 07, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 24, 25, 26; август – 03.

2024 г.: июнь – 02, 04, 06, 13, 14, 15, 16, 19, 21, 22, 24, 27, 28, 29, 30; июль – 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 23, 25, 28; август – 02.

Даты и районы регистрации [2].

8 июня 1885 г., Киссинген (Германия) (50,12° с. ш.), 12 июня 1885 г., Москва (55,44° с. ш.), в том же месяце Отто Ессе в Германии, В. Ласка в Австро-Венгрии (от 42,1° до 51,3° с. ш.) (Таблица, № 5, 6).

В ночь с 1 на 2 июля 1908 г. самая южная точка наблюдений находилась на 44,5° с. ш. в Крыму, в районе г. Бахчисарая и на юге Франции в г. Барде (44° с. ш.), их появление связывали с космической катастрофой — Тунгусским взрывом (Таблица, № 6).

15, 16, 23 сентября 1968 г. в районе оз. Балхаш (46,9° с. ш.) (Таблица, № 7).

31 июля 1981 г., г. Томск (56,28° с. ш.) (Таблица, №№ 3, 20).

10–11 апреля 1982 г. вблизи Ленинграда (59,57° с. ш.) на горизонте были видны яркие (до пяти баллов) серебристые облака вместе с полярным сиянием (Таблица, № 8).

17–18 июля 2004 г., Whitehorse, Yukon Territory, Canada, и на следующую ночь вне Skagway, Alaska (59,28° с. ш.) (Таблица, №№ 3, 20).

13 октября 2012 г., Иран (в районе горы Салабан, 38° с. ш.) (Таблица, №№ 9, 10).

9 июня 2013 г. – провинция Альберта, Канада (54,30° с. ш.) (Таблица, № 5).

В ночь с 15 на 16 июня 2013 г. над Евразией от Белоруссии (от 56,1° до 51,16° с. ш.) до Красноярска (56,0° с. ш.) (Таблица, №№ 5, 6).

3, 4 мая 1938 г. 1, 2 мая 1976 г. неизвестные места в которых наблюдались СО (Таблица, № 11).

Регистрация с борта самолета [2].

9 декабря 1972 г., наклонные светящиеся полосы серебристых облаков над Сирией (35° с. ш.) и Ираком (33,20° с. ш.) (Таблица, №№ 12, 13).

28 декабря 1973 г. в виде ярких гребешков, гребней и волн наблюдали с самолета в

районе Балтийского моря ($58,37^\circ$ с. ш.) (Таблица, №№ 14, 15).

29 декабря 1978 г., на маршруте Москва–АлмаАта (43° с. ш.) (Таблица, № 15).

2 июля 2011 г., над Денвером, штат Колорадо США, 38° с. ш. (Таблица № 6).

В южных широтах.

Для регистрации серебристых облаков в южном полушарии от 40° до 65° ю. ш. наблюдения проводятся в конце декабря и в январе во время действия метеорных потоков с радиантом склонения от -45° до -59° (Таблица, №№ 16, 17, 18, 19).

17 ноября 2016 г. сезон серебристых облаков в Антарктиде начался раньше обычного (рис. 3). Ранее эти облака не появлялись до середины декабря. Поскольку снимок на рисунке 3 сделан на МКС, то возможно, что наблюдения с поверхности Земли не могли зафиксировать более ранние появления серебристых облаков.

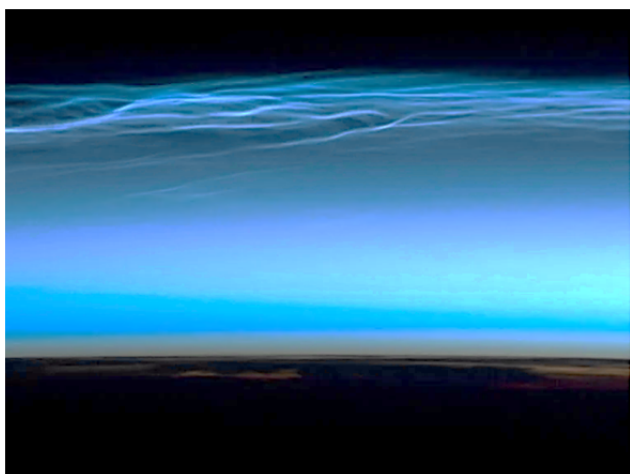


Рис. 3. Серебристые облака над Антарктидой. Снимок сделан 17 ноября 2016 г. экипажем МКС-23 [12]

Химический (элементный) состав кометных хвостов на поверхности МКС

МКС в орбитальном полете на каждом витке пересекает метеороидные потоки. Анализ календарных данных метеороидных потоков и продолжительности пребывания МКС в зонах пересечения ими орбиты Земли показал, что МКС находится в потоке кометного вещества от 60 до 100% эпохи их активности. Расчёты, проведённые Центром управления полётами, показывают, что общее время нахождения в защищаемой Землей области

для МКС составляет 92,8 суток или 25,4 % суммарного времени прогнозирования движения станции на один год [10]. На внешнюю поверхность МКС попадает материал кометного вещества в течение более чем двух десятилетий орбитального полёта в околоземном космическом пространстве. В экспериментах «Тест» (АО «ЦНИИмаш») в период с 2010–2019 гг. космонавты отобрали четыре десятка проб мелкодисперсного осадка с поверхности МКС. Обнаружено 65 химических элементов, в том числе элементы, входящие в вулканические газы и в состав микрометеороидов в характерных соотношениях [8, 11]. По результатам нейтронно-активационного анализа в пробах выявлены радиоактивные изотопы осмия, радия, тория, урана, цезия (на загрязнённых участках анализируемых поверхностей концентрация этих элементов повышена в 3–4 раза), но источник следов не определен [9]. Эти элементы, особенно радиоактивные, могут быть инициаторами образования частиц льда и серебристых облаков. Проведение космическими средствами спектрального анализа серебристых облаков в даты действия конкретного потока позволит понять химический состав частиц в потоке, установить индивидуальность потоков и их состава, а также возможную степень опасности для космических аппаратов.

Заключение

Более 100 лет назад была предложена метеорно-метеороидная гипотеза образования серебристых облаков в результате попадания в атмосферу Земли метеорных частиц спорадических потоков. Однако эта теория не объясняла появление серебристых облаков в ограниченном интервале высот, образование их в один и тот же период времени в одном широтном диапазоне и с характерной тонкой структурой. Предложенная гипотеза образования серебристых облаков базируется на результатах исследований физики атмосферы Земли, выполненных в экспериментах на МКС «УФ атмосфера» и «Терминатор» по регистрации свечения входящих в атмосферу частиц 36 регулярных метеороидных потоков кометных хвостов. Постоянство времени пересечения орбиты Земли метеорными потоками и значения их радианта позволяет исполь-

зовать данные, полученные научной аппаратурой МКС на высотах верхней мезосферы – нижней термосферы Земли, для объяснения природы серебристых облаков. Установленная непрерывность частиц потоков (плотность) в эпоху активности объясняет регулярность образования и изменчивость структуры серебристых облаков в зонах действия потоков, а также диапазон широт Земли, где они наблюдаются. Результаты измерений показали динамичность околоземного пространства, и присутствие непрерывно движущиеся к Земле мельчайших частиц метеорных потоков, которые создают серебристые облака. Полученные результаты являются демонстрацией возможностей МКС как орбитальной исследовательской лаборатории.

Анализ данных по периодичности выполнен при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Государственное задание № 075-00269-25-00).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астрономический форум. Журнал наблюдений серебристых облаков. <https://astronomy.ru/forum/index.php/topic,2799.0.html>

2. Далин П. А., Ромейко В. А., Перцев Н. Н., Перминов В. И. / Природа. 2015. № 11. С. 18–26.
3. Кулик Л. А. / Мироведение. 1926. Т. XV. № 2. С. 173.
4. Бронитэн В. А. Серебристые облака и их наблюдение. – М.: Наука, 1984.
5. Василяк Л. М., Шубралова Е. И., Чикирев В. Н. / Прикладная физика. 2024. № 6. С. 14–19.
6. Белов А. А., Климов П. А., Шаракин С. А. / Пилотируемые полеты в космос. 2022. № 3(44). С. 93–104.
7. Беляев А. Н., Николайшвили С. Ш., Омельченко А. Н. и др. / Геомагнетизм и аэрономия. 2023. Т. 63. № 4. С. 455–466.
8. Шубралова Е. В., Беляев В. С., Василяк Л. М., Дешевая Е. А., Печеркин В. Я., Цыганков О. С. / Тезисы 3-й Международной конференции, посвященной 25-летию МКС. – Москва, 2023. С. 320–326.
9. Zinicovscaia I., Grozdov D., Yushin N., Safonov A., Proshin I., Volkov M., Pryadka A., Belyaev V., Shubralova E., Tsygankov O. / Acta Astronautica. 2021. Vol. 189. P. 278–282.
10. Deshevaya E. A., Shubralova E. V., Fialkina S. V. et al. / BioNanoScience. 2020. Vol. 10. P. 81–88.
11. Шубралова Е. В., Пеклевский А. В., Прокопович С. П., Успенский Ф. А., Чикирев В. Н. / Космические исследования. 2025. Т. 63. № 2. С. 29–38.
12. Сайт журнала «Северный маяк». <https://severnymayak.ru/2016/12/05/v-etom-godu-serebristye-oblaka-poyavilis-v-nebe-antarktidy-ranshe-obychnogo/>
13. Астронет. <https://www.astronet.ru/db/msg/1674925>

PACS: 87.65.+y, 96.50.Pw

Parameters of meteor showers and the frequency of formation of silvery clouds in limited latitudes of the Earth

L. M. Vasilyak^{1,*}, E. V. Shubralova² and V. N. Chikirev²

¹ Joint Institute for High Temperatures of Russian Academy of Sciences, Moscow, 125412 Russia

* E-mail: vasilyak@ihed.ras.ru

² Joint Stock Company «Central Research Institute for Machine Building», Korolev, Moscow Region, 141070 Russia

Received 8.04.2025; revised 25.04.2025; accepted 2.06.2025

Based on the analysis of studies of the glow of meteor showers recorded in the international space experiments “UV-atmosphere” since 2019 and “Terminator” on the International Space Station, it was concluded that the presence of tiny particles of meteor showers continuously moving towards the Earth is one of the reasons for the periodic formation of silvery clouds in limited latitudes of the Earth. The analysis showed that the number of recorded cases of meteor luminescence in the UV region of the spectrum in the atmosphere exceeds the estimated standard zenith hourly number of streams, and the established continuity and variability of particles (density) in the streams of cometary tails during the epoch of activity explains the

regularity of formation and variability of the structure of silvery clouds. The registration of silvery clouds confirms the dynamism of near-Earth space.

Keywords: silvery clouds; meteor showers; international space station.

REFERENCES

1. Astronomical Forum. A log of observations of silvery clouds. <https://astronomy.ru/forum/index.php/topic,2799.0.html>
2. Dalin P. A., Romeyko V. A., Pertsev N. N. and Perminov V. I., Nature, № 11, 18–26 (2015) [in Russian].
3. Kulik L. A., Mirovedenie **XV** (2), 173 (1926) [in Russian].
4. Bronshten V. A. Silvery clouds and their observation. Moscow, Nauka, 1984 [in Russian].
5. Vasilyak L. M., Shubralova E. V. and Chikirev V. N., Applied Physics, № 6, 14–19 (2024) [in Russian].
6. Belov A. A., Klimov P. A. and Sharakin S. A., Manned Space Flights, № 3(44), 93–104 (2022) [in Russian].
7. Belyaev A. N., Nikolaishvili S. Sh., Omelchenko A. N. et al., Geomagnetism and aeronomy **63** (4), 455–466 (2023) [in Russian].
8. Shubralova E. V., Belyaev V. S., Vasilyak L. M., Deshevaya E. A., Pecherkin V. Ya. and Tsygankov O. S., Abstracts of the 3rd International Conference dedicated to the 25th anniversary of the ISS. Moscow, 2023, pp. 320–326 [in Russian].
9. Zinicovscaia I., Grozdov D., Yushin N., Safonov A., Proshin I., Volkov M., Pryadka A., Belyaev V., Shubralova E. and Tsygankov O., Acta Astronautica **189**, 278–282 (2021).
10. Deshevaya E. A., Shubralova E. V., Fialkina S. V. et al., BioNanoScience **10**, 81–88 (2020).
11. Shubralova E. V., Peklevsky A. V., Prokopovich S. P., Uspensky F. A. and Chikirev V. N., Space research. **63** (2), 29–38 (2025) [in Russian].
12. The website of the Journal "Northern Lighthouse". <https://severnymayak.ru/2016/12/05/v-etom-godu-serebristye-oblaka-poyavilis-v-nebe-antarktity-ranshe-obychnogo/>.
13. Astronet, <https://www.astronet.ru/db/msg/1674925>

Об авторах

Василяк Леонид Михайлович, главный научный сотрудник, д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (Россия, 125412, Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2). E-mail: vasilyak@ihed.ras.ru SPIN-код РИНЦ 5623-5167, Author ID 19599

Шубралова Елена Владимировна, главный специалист, АО Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (Россия, 141070, г. Королёв, Московской обл., ул. Пионерская, д. 4). E-mail: shubralova@mail.ru ORCID 0000-0001-6982-3038, Scopus 7004886755

Чикирев Владимир Николаевич, главный специалист, АО Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (Россия, 141070, г. Королёв, Московской обл., ул. Пионерская, д. 4). E-mail: vladchi56@yandex.ru Author ID 609834