



Получено: 4.05.2026 г. | Принято: 12.05.2026 г. | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2026.19.3-4.170.177>

Научная статья

# ПЕРВОЕ В МИРЕ НАБЛЮДЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАНОСТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛА, С КОСМИЧЕСКОЙ СКОРОСТЬЮ ВСТРЕЧАЮЩЕГО АТМОСФЕРУ В ПРОЦЕССЕ ПАДЕНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Б.А. Логинов<sup>1, 4, 5</sup>, рук. проекта, ORCID: 0000-0001-5081-1424 / [b-loginov@mail.ru](mailto:b-loginov@mail.ru)  
В.А. Беспалов<sup>1</sup>, д.т.н., чл.-корр. РАН, науч. рук., ORCID: 0000-0003-4976-8515  
Ю.В. Хрипунов<sup>2, 5</sup>, к.ф.-м.н., ORCID: 0000-0003-2250-0420  
А.Б. Логинов<sup>1, 3, 4</sup>, к.ф.-м.н., ORCID: 0000-0003-2090-5301  
В.Б. Логинов<sup>1, 4</sup>, вед. констр., ORCID: 0000-0002-2116-7411  
Е.В. Логинова<sup>7</sup>, ORCID: 0009-0005-4571-1492  
А.А. Панфилов<sup>2</sup>, к.т.н., ORCID: 0009-0008-4726-8414  
Д.А. Пашков<sup>8</sup>, вед. констр., ORCID: 0009-0004-9027-2671  
Д.С. Шевченко<sup>5</sup>, ORCID: 0009-0009-8866-0268  
З.А. Абдрахманова<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0002-0855-5687  
А.А. Амангелди<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0003-1605-1267  
Н.Ф. Бейсембай<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0005-1971-223X  
Ж.Д. Жамбыл<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0005-4761-512X  
И.Н. Исаева<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0009-7726-8201  
Д.Т. Казбаева<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0001-9200-1136  
Г.Е. Кожакельди<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0004-4041-271X  
А.А. Мадис<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0001-8564-2680  
Г.Д. Мурат<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0000-0052-673X  
Н.Н. Перевай<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0006-3242-6163  
К.С. Таукенова<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0006-3242-6163  
Б.Б. Темирбек<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0009-2686-0766

**Аннотация.** Получены первые в мире кадры разрушения поверхности металлической (золотой) пластинки, врезающейся с космической скоростью в атмосферу Земли. Кадры были сняты первым в мире космическим сканирующим зондовым микроскопом "СММ-2000С", в процессе сгорания его при сходе с орбиты в спутнике "Нанозонд-1". По результатам анализа этих кадров выявлен факт существенного воздействия атмосферы на наноструктуру поверхности материалов на высотах выше 100 км. Проведены подтверждающие это эксперименты на Земле.

**Ключевые слова:** сканирующий зондовый микроскоп, спутник Земли, атмосфера Земли

**Для цитирования:** Б.А. Логинов, В.А. Беспалов, Ю.В. Хрипунов, А.Б. Логинов, В.Б. Логинов, Е.В. Логинова, А.А. Панфилов, Д.А. Пашков, Д.С. Шевченко, З.А. Абдрахманова, А.А. Амангелди, Н.Ф. Бейсембай, Ж.Д. Жамбыл, И.Н. Исаева, Д.Т. Казбаева, Г.Е. Кожакельди,

<sup>1</sup> Национальный исследовательский университет МИЭТ, Зеленоград, Россия / National Research University of Electronic Technology (MIET), Zelenograd, Russia

<sup>2</sup> Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел, Россия / Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

<sup>3</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия / Lomonosov Moscow State University, Physical Department, Moscow, Russia

<sup>4</sup> АО "Завод ПРОТОН", Зеленоград, Россия / JSC PROTON Plant, Moscow, Russia

<sup>5</sup> Образовательный центр "Сириус", федеральная территория "Сириус", Россия / Educational Centre "Sirius", Sirius Federal Territory, Russia

<sup>6</sup> Назарбаев Университет, г. Астана, Республика Казахстан / Nazarbayev University, Astana, Republic of Kazakhstan

<sup>7</sup> Школа №1564 имени Героя Советского Союза А.П. Белобородова, Москва, Россия / School No. 1564 named after Hero of the Soviet Union A.P. Beloborodov, Moscow, Russia

<sup>8</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, Москва, Россия / Lomonosov Moscow State University, Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, Moscow, Russia



А.А. Мади, Г.Д. Мурат, Н.Н. Перевай, К.С. Таукенова, Б.Б. Темирбек. Первое в мире наблюдение изменения наноструктуры поверхности материала, с космической скоростью встречающего атмосферу в процессе падения на Землю. НАНОИНДУСТРИЯ. 2026. Т. 19. № 3-4. С. 170-177. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2026.19.3-4.170.177>.

Received: 4.05.2026 | Accepted: 12.05.2026 | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2026.19.3-4.170.177>

Original paper

## THE WORLD'S FIRST OBSERVATION OF CHANGES IN THE NANOSTRUCTURE OF A MATERIAL SURFACE AS IT ENTERS THE ATMOSPHERE AT SPACE-TRAVEL SPEED WHILE FALLING TOWARDS EARTH

**B.A.Loginov**<sup>1, 4, 5</sup>, Head of Project, ORCID: 0000-0001-5081-1424 / [b-loginov@mail.ru](mailto:b-loginov@mail.ru)  
**V.A.Bespalov**<sup>1</sup>, Doct. of Sci. (Tech), Corresponding Member of RAS, ORCID: 0000-0003-4976-8515  
**Yu.V.Khripunov**<sup>2, 5</sup>, Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), ORCID: 0000-0003-2250-0420  
**A.B.Loginov**<sup>1, 3, 4</sup>, Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), ORCID: 0000-0003-2090-5301  
**V.B.Loginov**<sup>1, 4</sup>, Leading Designer, ORCID: 0000-0002-2116-7411  
**E.V.Loginova**<sup>7</sup>, ORCID: 0009-0005-4571-1492  
**A.A.Panfilov**<sup>2</sup>, Cand. of Sci. (Tech), ORCID: 0009-0008-4726-8414  
**D.A.Pashkov**<sup>8</sup>, Leading Designer, ORCID: 0009-0004-9027-2671  
**D.S.Shevchenko**<sup>5</sup>, ORCID: 0009-0009-8866-0268  
**Z.A.Abdrakhmanova**<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0002-0855-5687  
**A.A.Amangeldi**<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0003-1605-1267  
**N.F.Beisembai**<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0005-1971-223X  
**Z.D.Zhambyl**<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0005-4761-512X  
**I.N.Isaeva**<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0009-7726-8201  
**D.T.Kazbayeva**<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0001-9200-1136  
**G.E.Kozhakeldi**<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0004-4041-271X  
**A.A.Madi**<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0001-8564-2680  
**G.D.Murat**<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0000-0052-673X  
**N.N.Perevay**<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0006-3242-6163  
**K.S.Taukenova**<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0006-3242-6163  
**B.B.Temirbek**<sup>5, 6</sup>, ORCID: 0009-0009-2686-0766

**Abstract.** The world's first images have been captured of metal (gold) plate destruction as it plunges into Earth's atmosphere at cosmic speeds. The footage was captured by the world's first "SMM-2000S" space-based scanning probe microscope during its burn-up as it re-entered the atmosphere from orbit aboard the "Nanozond-1" satellite. Analysis of these images revealed that the atmosphere has a significant effect on the surface nanostructure of materials at altitudes above 100 kilometres. Experiments confirming this have been carried out on Earth.

**Keywords:** scanning probe microscope, Earth satellite, Earth's atmosphere

**For citation:** B.A. Loginov, V.A. Bespalov, Yu.V. Khripunov, A.B. Loginov, V.B. Loginov, E.V. Loginova, A.A. Panfilov, D.A. Pashkov, D.S. Shevchenko, Z.A. Abdrakhmanova, A.A. Amangeldi, N.F. Beisembai, Z.D. Zhambyl, I.N. Isaeva, D.T. Kazbayeva, G.E. Kozhakeldi, A.A. Madi, G.D. Murat, N.N. Perevay, K.S. Taukenova, B.B. Temirbek. The world's first observation of changes in the nanostructure of a material surface as it enters the atmosphere at space-travel speed while falling towards Earth. NANOINDUSTRY. 2026. Vol. 19. No. 3-4. PP. 170-177. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2026.19.3-4.170.177>.



## ВВЕДЕНИЕ

Россией в космос 27 июня 2023 года в спутнике Земли "Нанозонд-1" был запущен первый в мире [1] спутниковый сканирующий зондовый микроскоп – марки "СММ-2000С". Он с увеличением 50 000 крат и с нанометровой точностью снимает и отправляет по радиоканалу на Землю кадры рельефа поверхности исходно ровного (рис.1а) металлического (золотого) зеркала [2], открытого на космос. На зеркало падают разные частицы, пылинки, ионы солнечного ветра и солнечный свет. Впервые в мире были сняты кадры обдирания поверхности солнечным ветром (рис.1б) и открыт механизм образования космической пыли от всех космических аппаратов из-за этого [3]. Впервые был зафиксирован также и эффект разглаживания образовавшихся после этого бугорков поверхности (рис.1с) солнечным светом [4]. С помощью вакуумных установок, приближенно воссоздающих условия космоса, начат подбор новых материалов, мало обдираемых ионами и залечивающихся светом, что позволит уменьшить толщину корпусов и увеличить полезную массу космических кораблей.

## НОВЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Космический микроскоп бесперебойно работал почти три года, снял сотни кадров, но постепенно снижал орбиту из-за притяжения к Земле. Ко дню космонавтики (дню первого в мире полета человека в космос, Юрия Гагарина), 12 апреля, он снизился до 250 км, и мы наблюдали кадры встречающей атмосферу металлической поверхности вплоть до начала сгорания спутника в плотных слоях атмосферы и окончания с него радиопередач кадров утром 20 апреля 2026 года (рис.2).

Именно по наблюдению этих кадров, по сравнению с кадрами ровных относительно них предыдущих рельефов поверхности (рис.1с), был сделан предварительный вывод, что сильное взаимодействие атмосферы с поверхностью движущегося в ней с космической скоростью тела начинается уже как минимум на высоте 150 км (рис.2б). Для проверки этого, а также, заодно, для проверки и правильности работы космического микроскопа, который мог давать неверные кадры в жестких условиях удара об атмосферу, хотя на это он был рассчитан, были проведены опыты, приближенно повторяющие ситуацию в космосе. Опыты были проведены вместе с большой командой талантливых старшеклассников, отобранных со всех уголков республики Казахстан (рис.3), издавна славящейся космодромом Байконур, в рамках проводимого образовательным центром "Сириус" "Второго саммита талантов" в г. Астана сразу после сгорания космического микроскопа – 24-26 апреля 2026 года.

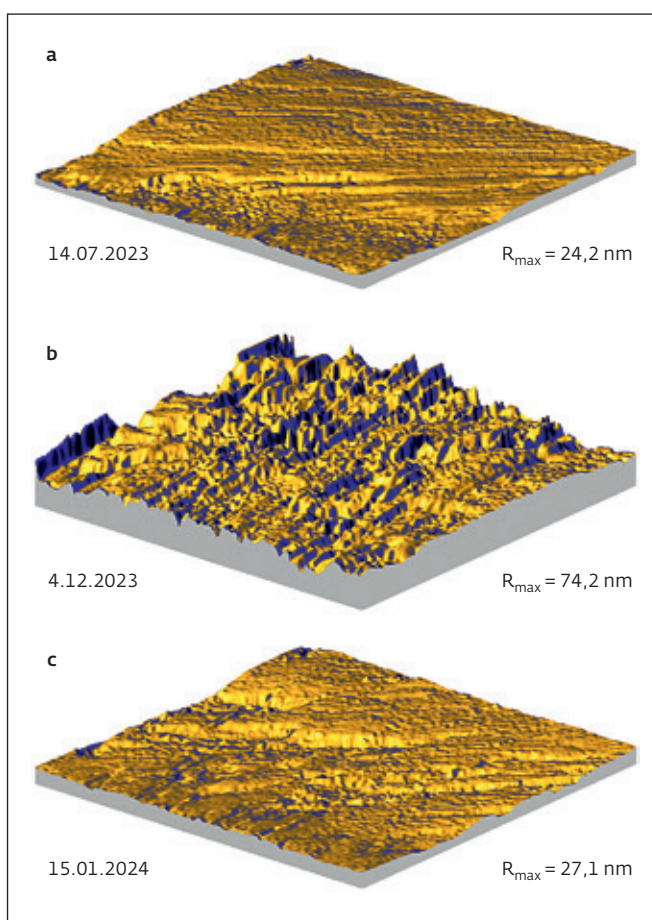


Рис.1. Кадры с одной и той же точки поверхности открытого на космос золотого зеркала с первого в мире спутникового сканирующего зондового микроскопа СММ-2000С при падении с космической скоростью: а – 18-й день полета, ровное зеркало; б – 161-й день полета, зеркало обдрано солнечным ветром от вспышки на Солнце; с – 203-й день полета, зеркало разгладилось солнечным светом. Размер кадров  $4 \times 4$  мкм.  $R_{max}$  – полный разброс высот в кадрах

Fig.1. Images taken from the same point on the surface of a gold mirror facing space, captured by the world's first satellite scanning probe microscope, "SMM-2000S", whilst falling at space velocity: a – 18th day of flight, smooth mirror; b – 161st day of flight, mirror eroded by solar wind from a solar flare; c – 203rd day of flight, mirror smoothed by sunlight. Frame size  $4 \times 4 \mu\text{m}$ .  $R_{max}$  – total height variation within the frames

## INTRODUCTION

On 27 June 2023, Russia launched the world's first [1] satellite-based scanning probe microscope, the "SMM-2000S", aboard the Earth satellite "Nanosond-1". With a magnification of 50,000 and nanometre-level precision, it captures and transmits via radio link to Earth images of the surface relief of an initially flat (Fig.1a) metallic (gold) mirror [2]

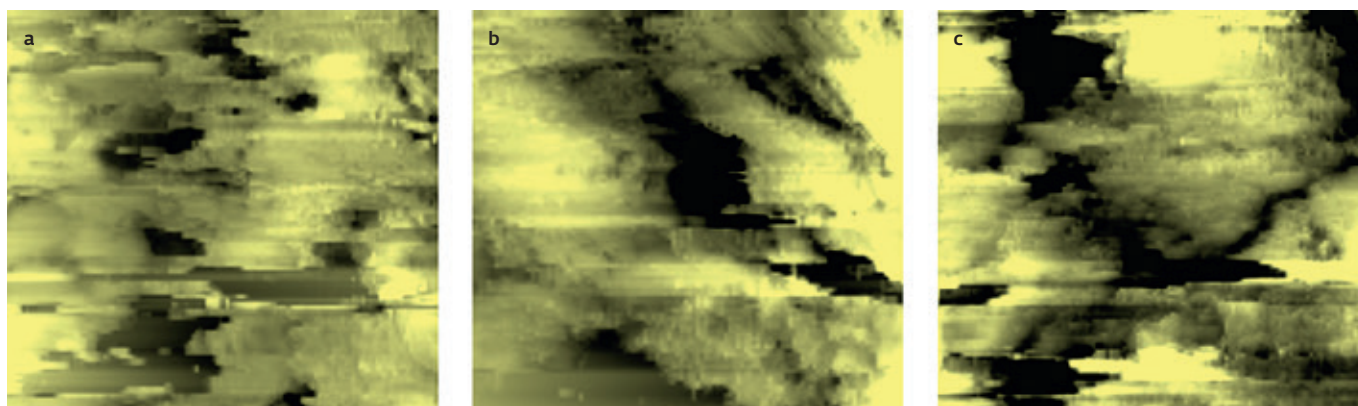


Рис.2. Кадры поверхности открытого на космос золотого зеркала с первого в мире спутникового сканирующего зондового микроскопа СММ-2000С, с космической скоростью встречающего атмосферу в процессе падения на Землю: а – за четыре дня до сгорания в атмосфере,  $R_{max} = 55$  нм; б – за два дня до сгорания,  $R_{max} = 72$  нм; с – в день сгорания,  $R_{max} = 96$  нм, где  $R_{max}$  – полный разброс высот в кадрах. Размер кадров  $4 \times 4$  мкм

Fig.2. Images of the gold mirror facing space surface, captured by the world's first satellite scanning probe microscope, "SMM-2000S", as it entered the atmosphere at space velocity whilst falling towards Earth: a – 4 days before atmospheric re-entry,  $R_{max} = 55$  nm; b – 2 days before burning up,  $R_{max} = 72$  nm; c – on the day of burning up,  $R_{max} = 96$  nm, where  $R_{max}$  is the total height range in the images. Image size  $4 \times 4$   $\mu$ m

С помощью бесщеточного мотора мощностью 3000 Вт (рис.4а) со скоростью вращения до 350 тыс. оборотов в минуту, закрепив золотой образец на диаметре 68 мм на конце одной из лопаток охлаждения мотора (рис.4б), по расчетам, удалось получить линейную скорость образца около 1250 м/с, что всего в шесть раз меньше первой космической скорости. На образце с иммерсионным золочением поверхности (рис.4с) наблюдался очень сходный с космическим эффект разрыва исходной наноструктуры зерен поверхности (рис.4д), что подтвердило правильность космических кадров.

Независимо от этого московская школьница (рис.5а) провела такие же эксперименты, но с образцом, покрытым "твердым золотом", с гальваническими присадками (кобальт, никель). Разгон образца до больших скоростей фиксировался тепловизором (рис.5б, 5с). Результатом разгона также стало разрушение поверхности (рис.5д), но с трещинами меньшей глубины и с перестройкой остаточной структуры в более мелкую из того же начального состояния, как и у иммерсионного золота (рис.4с).

## ВЫВОДЫ

Таким образом, в данном кратком сообщении демонстрируется получение кадров поверхности материалов с нанометровым разрешением в крайне сложных условиях эксплуатации, что будет продолжено на последующих запускаемых в космос [5] космических зондовых микроскопах серии СММ-2000,

exposed to space. Various particles, dust motes, solar wind ions and sunlight strike the mirror. For the first time in the world, footage was captured of the surface being eroded by the solar wind (Fig.1b), and the mechanism by which cosmic dust is formed from all spacecraft as a result of this was discovered [3]. The effect of the resulting surface bumps being smoothed out by sunlight (Fig.1c) was also recorded for the first time [4]. Using vacuum chambers that approximate space conditions, the search has begun for new materials that are minimally eroded by ions and can be "healed" by light, which will allow for thinner hulls and an increase in the payload capacity of spacecraft.

## NEW EXPERIMENT

The space microscope operated without a hitch for almost three years, capturing hundreds of images, but gradually descended into a lower orbit due to Earth's gravitational pull. By Cosmonautics Day (marking the world's first human spaceflight by Yuri Gagarin), 12 April, it had descended to 250 km, and we observed images of the metal surface entering the atmosphere right up until the satellite began to burn up in the dense layers of the atmosphere and ceased transmitting images on the morning of 20 April 2026 (Fig.2).

It was precisely by observing these images, and comparing them with images of the relatively flat surface reliefs preceding them (Fig.1c), that a preliminary conclusion was reached: that significant interaction between the atmosphere and the surface of a body moving through it at space velocity begins at an altitude of at least 150 km (Fig.2b). To verify this, and at the same



Рис.3. Команда талантливых старшеклассников республики Казахстан, выполнившая эксперименты по теме первого в мире космического микроскопа в апреле 2026 года: Адина Айдынгали, г. Уральск; Айару Амангелди, г. Уральск; Айзере Калдыбай, село Узынагаш; Али Кенжегали, г. Атырау; Арай Мади, г. Атырау; Асылбек Бейбит, село Сарыкемер; Бибарыс Темирбек, село Сарыжар; Гулим Кожакельди, г. Туркестан; Гульназ Мурат, г. Актобе; Диана Казбаева, г. Астана; Еркежан Жайлауова, г. Аягоз; Жанат Бисенбай, г. Актобе; Жанерке Жамбыл, г. Есик; Жанерке Мырзабаева, г. Актобе; Жанерке Туяк, г. Павлодар; Зара Абдрахманова, пос. Белоусовка; Инабат Исаева, г. Алматы; Кымбат Таукенова, село Опытное поле; Надежда Перевай, г. Аксай; Нурторе Бейсембай, г. Астана; Советалы Саят, село Сарыкемер; Ханкелды Тохтаров, село Кошманбет

в том числе проектируемых для посадки на Венеру. Кроме того, разработана методика испытания материалов в условиях, приближенных к космическим при входе в атмосферу, что дает возможность дополнительно оптимизировать материалы для спускаемых аппаратов.

time to check the correct operation of the space microscope – which could have produced inaccurate images under the harsh conditions of atmospheric impact, even though it was designed to withstand them – experiments were conducted that approximated the situation in space. The experiments were carried out in collaboration with a

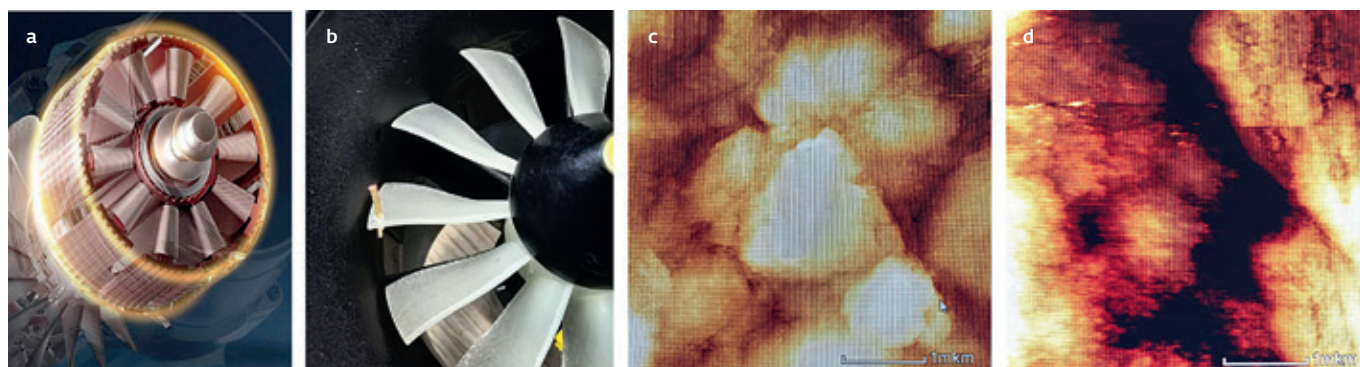


Рис.4. Эксперимент по разгону образца до скоростей, сравнимых с космическими: а – высокоскоростной мотор; б – закрепление образца на конце лопатки мотора; в – кадр исходной поверхности образца иммерсионного золота,  $R_{max} = 18$  нм; д – кадр этого же образца после разгона до 1250 м/с,  $R_{max} = 38$  нм, где  $R_{max}$  – полный разброс высот в кадрах. Размер кадров  $4 \times 4$  мкм  
Fig.4. An experiment involving acceleration of a sample to speeds comparable to those in space: a – high-speed motor; b – the sample secured to the tip of the motor blade; c – image of the initial surface of the immersion gold sample,  $R_{max} = 18$  nm; d – image of the same sample after acceleration to 1250 m/s,  $R_{max} = 38$  nm, where  $R_{max}$  is the total height variation in the images. Image size  $4 \times 4$   $\mu$ m

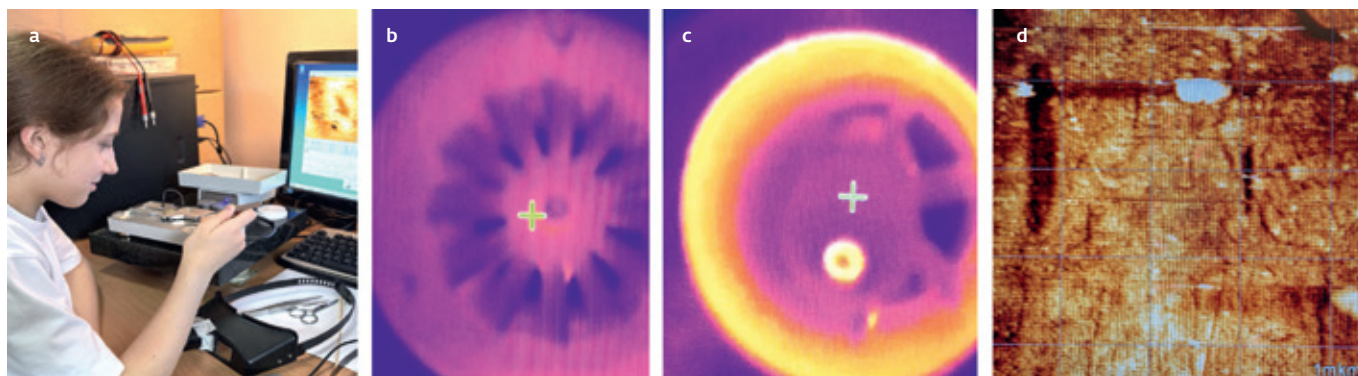


Рис.5. Московская школьница Логинова Евгения, школа №1564, проводит эксперимент по разгону образца до скоростей, сравнимых с космическими: а – работа за сканирующим зондовым микроскопом СММ-2000; б – лопатки мотора в начале разгона, изображение в тепловизоре; в – лопатки мотора с нагревающимся от вращения образцом на конце лопатки, изображение в тепловизоре; д – кадр образца после разгона до 1250 м/с, размер кадра  $4 \times 4$  мкм, полный разброс высот в кадре  $R_{max} = 29$  нм

Fig.5. Evgenia Loginova, a schoolgirl from Moscow attending School No. 1564, is conducting an experiment to accelerate a sample to speeds comparable to those in space: a – work using the "SMM-2000" scanning probe microscope; b – motor blades at the start of acceleration, thermal imaging; c – motor blades with a sample at the tip of the blade heating up due to rotation, image from a thermal imager; d – frame of the sample after acceleration to 1250 m/s, frame size  $4 \times 4$   $\mu\text{m}$ , total height range in the frame  $R_{max} = 29$  nm

## БЛАГОДАРНОСТИ

Данная работа выполнена при партнерстве Национального исследовательского университета МИЭТ и АО "Завод ПРОТОН" из Зеленограда, Орловского государственного университета имени И. С. Тургенева, Образовательного центра "Сириус" со школами Москвы и Казахстана, компании "Спутникс", МГУ им. М. В. Ломоносова и Фонда содействия инновациям, Россия, по программе которого ("Дежурный по планете") получена финансовая поддержка по запуску первого в мире космического зондового микроскопа.

Выражаем также благодарности радиолюбителям всего мира, инициативно и с интересом принимавших картинку со спутника "Нанозонд-1" (рис.5). Общение с вами привело к пониманию, что в критических по времени событиях, таких как, например, быстрый сход с орбиты, можно передавать данные с полезных нагрузок спутников в любительском формате SSTV, чтобы вы могли "передавать из рук в руки" спутники между собой и почти непрерывно принимать данные космических экспериментов с них на всем обороте их вокруг Земли.

Благодарим всех принимавших картинку со спутника "Нанозонд-1" радиолюбителей из России: Аксенов Дмитрий R6DWQ (Краснодар); Артемов Антон UB6HWD (Михайловск, Ставропольский край); Заев Александр UA2020SWL (Калининград); Игнатенко Сергей RA0SAB (Ангарск); Лиховцов Павел R3DOD (Московская область); Прохоренко Михаил

large team of talented secondary school pupils, selected from all corners of the Republic of Kazakhstan (Fig.3), a country long renowned for the Baikonur Cosmodrome, as part of the "Second Talent Summit" organised by the Sirius Educational Centre in Astana immediately following the destruction of the space microscope, 24–26 April, 2026.

Using a 3000 W brushless motor (Fig.4a) rotating at up to 350,000 revolutions per minute, and by securing a gold sample with a diameter of 68  $\mu\text{m}$  to the end of one of the motor's cooling fins (Fig.4b), according with our calculation we succeeded in achieving a linear velocity of the sample of approximately 1,250 metres per second, which is only six times less than the first cosmic velocity. On the sample with an immersion-gilded surface (Fig.4c), an effect very similar to that observed in space was observed, involving the disruption of the original surface grain nanostructure (Fig.4d), which confirmed the accuracy of the space images.

Regardless of this, a schoolgirl from Moscow (Fig.5a) carried out the same experiments, but using a sample coated with "hard gold" containing galvanic additives (cobalt, nickel). The acceleration of the sample to high speeds was recorded using a thermal imager (Figs.5b, 5c). The acceleration also resulted in surface damage (Fig.5d), but with shallower cracks and a restructuring of the remaining structure into a finer one from the same initial state as that of immersion gold (Fig.4c).

## CONCLUSIONS

This brief report thus demonstrates the acquisition of nanometre-resolution images of material surfaces under extremely challenging operational conditions;

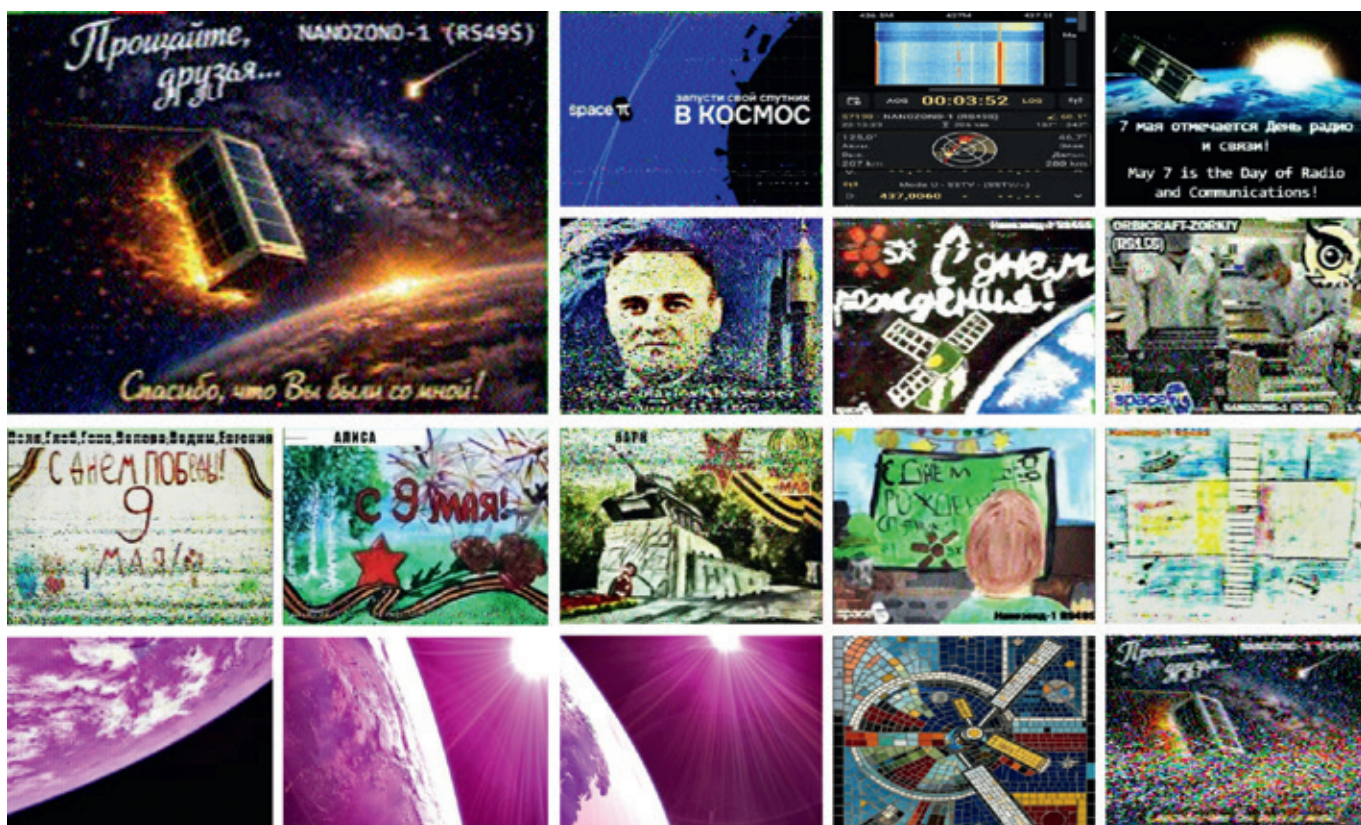


Рис.6. Картинки, загруженные на спутник "Нанозонд-1" и принятые радиолюбителями телеграм-канала AmateurSat в течение его полета: прощальная картинка большого формата хорошего качества, она же далее плохого качества из-за падения спутника (в конце коллажа); праздничные рисунки детей; кадры космоса с оптической камеры спутника и заставка песни, написанной для прощания со спутником (<https://suno.com/s/GJgllp9B1OEijAD>)

Fig.6. Images uploaded to the "Nanosond-1" satellite and received by amateur radio operators on the AmateurSat Telegram channel during its flight: a high-quality, large-format farewell image, followed by a lower-quality version of the same image due to the satellite's descent (at the end of the collage); children's festive drawings; space images from the satellite's optical camera and a screensaver featuring a song written to bid farewell to the satellite (<https://suno.com/s/GJgllp9B1OEijAD>)

и Колпаков Владимир R1WAT (Псков, директор МБУ Планетарий); Конышевы Иван R1CVC и Ксения RU1CAC (Лехтуси); Соболев Никита R9OOT (Новосибирск); Мульгин Андрей R3TAV и Шведов Андрей из Нижнего Новгорода; Сухов Геннадий и школьники Николай Сухов, Семен Половников, Алиса Кочкурова, Анастасия Климина, Даниил Муравьев из г. Семенов Нижегородской области; Третьяков Михаил UB9YCL (Барнаул); Хасанов Хасан UB6EAV (Усть-Джегута); Чих Татьяна и Саша из Саратова, а также благодарим радиолюбителей не только из России: John David Trolinger N5ZKK Kerrville, Texas, USA, Delbert Long K7PD, Utan, USA, Funing Mo BG7XTQ Nanning People's Republic of China, Varun Dwarakanath VU3IPU Bangalore, India, Eugen Gez DO1EG, Hamburg, Germany, Jose Angel Rivas EB3EIC, Sodupe, España, Ben Zandstra PE2BZ, Netherlands, Merkouris Gogos SV2HWM Thessaloniki, Greece, Vladimir Cherny EU1SAT,

this work will be continued on future SMM-2000 series space probe microscopes to be launched into space [5], including those designed for landing on Venus. Furthermore, a methodology has been developed for testing materials under conditions approximating those encountered during atmospheric entry, which makes it possible to further optimise materials for descent vehicles.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This work was carried out in partnership with the National Research University MIET and PROTON Plant JSC in Zelenograd, the I.S.Turgenev Orel State University, and "Sirius" Educational Centre in collaboration with schools in Moscow and Kazakhstan, the company "Sputniks", Lomonosov Moscow State University and the Innovation Promotion Fund, Russia, under the "Planet Watch" programme, which provided financial support for the launch of the world's first space probe microscope.



Minsk, Belarus, Evgeny Savchenko UR1358SWL, Ukraine, Klinden Flores Lima OA4DEX, Lima, Peru, Juan Jesús Ramos Vicedo CM6JVR, Sancti Spiritus, Cuba, David Alejandro Saavedra HJ3DSH, Bogota, Colombia, Igor Monteiro PU4ELT, Pará de Minas, Brazil, Juan León Díaz CD1NLD, Antofagasta, Chile, Boris Oliveros Burgos HJ5RTD, Cali, Colombia.

### ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

*Декларация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.*

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Логинов Б.А.** Комплекс зондовой микроскопии для работы в космическом пространстве и атмосфере. Патент на изобретение 2778278 С1, 17.08.2022, Заявка № 2021128836 от 04.10.2021.
2. **Логинов Б.А., Беспалов В.А., Хрипунов Ю.В., Логинов А.Б., Логинов В.Б., Панфилов А.А., Пашков Д.А.** Первичный анализ снимков с первого в мире космического зондового микроскопа "СММ-2000С" в спутнике Земли "Нанозонд-1". НАНОИНДУСТРИЯ. 2025. Т. 18. № 2. С. 88–102. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.2.88.102>
3. **Логинов Б.А., Беспалов В.А., Хрипунов Ю.В., Логинов А.Б., Логинов В.Б., Щербина М.А., Акинина В.С., Батунова Д.А., Пичугина А.В., Серенок А.С., Ульева И.И., Шевченко Д.С.** Исследование механизмов образования пыли в космическом пространстве. НАНОИНДУСТРИЯ. 2025. Т. 18. № 5. С. 248–252. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.5.248.252>
4. **Логинов Б.А., Беспалов В.А., Хрипунов Ю.В., Логинов А.Б., Логинов В.Б., Абдужалалов Д.Е., Конакбаева С.Б., Курлысов С.Е., Макарова А.Е., Максатов И.А., Мухибаев Б., Нурканова З.Т., Нурмашев А., Оканов А.К., Сейтжан К.Б., Сопрыгин И.А., Шаншар А.Т., Эркинова А.Е., Логинова П.П.** Исследование механизма восстановления поверхности материалов в космосе солнечным светом. НАНОИНДУСТРИЯ. 2026. Т. 19. № 1. С. 8–15. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2026.19.1.8.15>
5. **Логинов Б.А.** Первый в мире сканирующий зондовый микроскоп в виде спутника как старт этапа научных спутников-лабораторий. НАНОИНДУСТРИЯ. 2021. № 5. С. 22–26. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2021.14.5.270.274>

We would also like to express our gratitude to amateur radio operators around the world who actively and enthusiastically received images from the "Nanosond-1" satellite (Fig.5). Our communication with you has led us to realise that in time-critical situations, such as a rapid descent from orbit, data from satellite payloads can be transmitted in the amateur SSTV format, enabling you to "pass the satellite from hand to hand" amongst yourselves and receive data from space experiments almost continuously throughout their entire orbit around the Earth. Also, we would like to thank all the amateur radio operators in Russia who received images from the "Nanosond-1" satellite: Dmitry Aksenov R6DWQ, Krasnodar; Anton Artemov UB6HWD, Mikhailovsk, Stavropol Krai; Alexander Zaev UA2020SWL, Kaliningrad; Sergey Ignatenko RA0SAB, Angarsk; Pavel Likhovtsov R3DOD, Moscow Region; Mikhail Prokhorenko and Vladimir Kolpakov R1WAT, Pskov (Director of the Planetarium Municipal Budgetary Institution); Ivan and Ksenia Konyshev R1CBC, Lehtusi; Nikita Sobolev R9OOT, Novosibirsk, Andrey Mulgin R3TAB and Andrey Shvedov from Nizhny Novgorod, Gennady Sukhov and school pupils Nikolay Sukhov, Semyon Polovnikov, Alisa Kochkurova, Anastasia Klimina, and Daniil Muravyov from Semenov, Nizhny Novgorod Region, Mikhail Tretyakov UB9YCL, Barnaul, Hasan Hasanov UB6EAV from Ust-Dzheguta, Tatyana Chikh and Sasha from Saratov, and we thank radio amateurs not only from Russia (we also thank radio amateurs from all over the world): John David Trolinger N5ZKK Kerrville, Texas, USA, Delbert Long K7PD, Utan, USA, Funing Mo BG7XTQ Nanning People's Republic of China, Varun Dwarakanath VU3IPU Bangalore, India, Eugen Gez DO1EG, Hamburg, Germany, Jose Angel Rivas EB3EIC, Sodupe, España, Ben Zandstra PE2BZ, Netherlands, Merkouris Gogos SV2HWM Thessaloniki, Greece, Vladimir Cherny EU1SAT, Minsk, Belarus, Evgeny Savchenko UR1358SWL, Ukraine, Klinden Flores Lima OA4DEX, Lima, Peru, Juan Jesús Ramos Vicedo CM6JVR, Sancti Spiritus, Cuba, David Alejandro Saavedra HJ3DSH, Bogota, Colombia, Igor Monteiro PU4ELT, Pará de Minas, Brazil, Juan León Díaz CD1NLD, Antofagasta, Chile, Boris Oliveros Burgos HJ5RTD, Cali, Colombia.

### PEER REVIEW INFO

Editorial board thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish papers on the journal's website and SEL eLibrary eLIBRARY.RU.

*Declaration of Competing Interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.*



# МИКРОСКОП СКАНИРУЮЩИЙ

## ЗОНДОВЫЙ «СММ-2000»

Единственный в мире зондовый микроскоп, летающий в космосе в виде спутника Земли, работающий в перчаточных и горячих камерах атомных реакторов и внутри термоядерного реактора ТОКАМАК.



## ВСТРОЕННАЯ ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ И ВЫСОЧАЙШЕЕ РАЗРЕШЕНИЕ

В базовой комплектации показывает атомы пиролитического графита в режиме сканирующей туннельной микроскопии.

Для качественного осмотра малых и больших объектов микроскоп имеет сканеры с разными размерами полей по X/Y/Z.

Микроскоп предоставляет уникальную возможность сборки его и разборки – для встраивания в различные системы и для лучшего обучения, выдерживая сборки-разборки до 12 лет в учебных классах

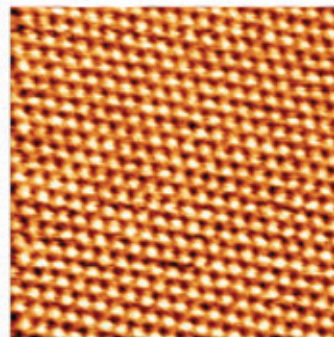
Микроскоп СММ-2000 работает со стандартными зондами-кантилеверами, имеет 3 основных режима сканирующей туннельной, полуконтактной и контактной атомно-силовой микроскопии, а также более 25 дополнительных режимов по снятию карт различных физических характеристик.



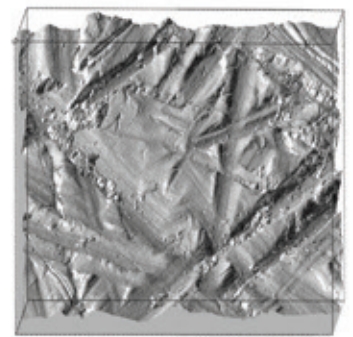
- Увеличение от 2 тыс. до 10 млн. крат
- Разрешение вплоть до АТОМОВ
- Трехмерный вид поверхности
- Измерение размеров от 0,2 нм до 40 мкм
- Распределение размеров зерен
- Анализ шероховатости до 0,2 нм
- Техподдержка 24/7 на «микроскоп.su»
- Серийный выпуск в России
- Для точных производств, науки и университетов
- Надежен даже для обучения в школах!

Микроскоп позволяет: отсканировать поверхность в выбранной точке образца, снять образец с микроскопа, воздействовать на образец тем или иным способом, например, напылить,

протравить или облучить, обратно установить образец в микроскоп и просканировать ту же с нанометровой точностью ранее выбранную точку на образце.



АТОМЫ ПИРОГРАФИТА  
кадр 8,8×8,8 нм



ШЛИФ СТАЛИ, кадр 10×10 мкм,  
шероховатость Ra = 0,007 мкм

