NANOINDUSTRY
НАНОИНДУСТРИЯ
На двух языках
ISSN 1993-8578 (print)
ISSN 2687-0282 (online)
DOI: 10.22184/1993-8578.2025.18.2
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
2
2025

СТАБИЛИЗАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА МЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗОЙ

Проведен синтез наночастиц диоксида титана и компьютерное квантово-химическое моделирование для определения оптимального типа взаимодействия частиц диоксида титана с метилцеллюлозой

ЖИВАЯ КЛЕТКА КАК ОБЪЕКТ В СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Методы зондовой микроскопии позволяют оценивать морфологию и жесткость клеток, измерять упругость, модуль Юнга, адгезию, устойчивость к механическому воздействию, проводить неинвазивные и неразрушающие измерения при комнатной температуре

ПРЕЦИЗИОННАЯ ПОДАЧА ЖИДКИХ РЕАГЕНТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА ЖИДКОСТИ

Предложена конструкция регулятора расхода жидкости для подачи жидких реагентов с использованием датчика дифференциального давления с возможностью регулирования подачи жидкости в миллилитровом диапазоне

В НОМЕРЕ:

ИННОВАЦИИ

ДОСТИЖЕНИЯ

ДИСКУССИИ

ПЕРВИЧНЫЙ АНАЛИЗ СНИМКОВ С ПЕРВОГО В МИРЕ КОСМИЧЕСКОГО ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА "СММ-2000С" В СПУТНИКЕ ЗЕМЛИ "НАНОЗОНД-1"

Представлена полная линейка уникальных кадров, полученных за полтора года с первого в мире космического сканирующего зондового микроскопа "СММ-2000С", работающего в открытом космосе в спутнике Земли "Нанозонд-1"

Том 18 | №2 | 2025

Журнал: www.nanoindustry.su
Издательство: www.technosphera.ru

Получено: 25.02.2025 г. | Принято: 30.02.2025 г. | DOI: https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.2.88.102
Научная статья

ПЕРВИЧНЫЙ АНАЛИЗ СНИМКОВ С ПЕРВОГО В МИРЕ КОСМИЧЕСКОГО ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА "СММ-2000С" В СПУТНИКЕ ЗЕМЛИ "НАНОЗОНД-1"

Б.А.Логинов[1, 5, 6], нач. лаб., *ORCID: 0000-0001-5081-1424* / ***b-loginov@mail.ru***
В.А.Беспалов[1], д.т.н., чл.-корр. РАН, *ORCID: 0000-0003-4976-8515*
Ю.В.Хрипунов[2, 6], к.ф.-м.н., доц., *ORCID: 0000-0003-2250-0420*
А.Б.Логинов[3, 1, 5], асп., *ORCID: 0000-0003-2090-5301*
В.Б.Логинов[1, 5], вед. констр., *ORCID: 0000-0002-2116-7411*
А.А.Панфилов[2], инж., *ORCID: 0009-0008-4726-8414*
Д.А.Пашков[4], вед. констр., *ORCID: 0009-0004-9027-2671*

Аннотация. Представлена вся линейка уникальных кадров, полученных за полтора года с первого в мире космического сканирующего зондового микроскопа "СММ-2000С", работающего в открытом космосе в спутнике Земли "Нанозонд-1" и снимающего с нанометровой точностью изменение рельефа поверхности золотого зеркала, открытого для воздействия солнечного ветра и попадания пыли. Сделан численный анализ кадров рельефа золота на изменение параметров шероховатости, фрактальной размерности и статистики по размерам зерен, построены графики изменения этих характеристик, соотносимые с графиками солнечной активности. Предложено участие широкого научного сообщества в интерпретации полученных данных.

Ключевые слова: сканирующая зондовая микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия, спутник Земли, космическая пыль, солнечный ветер, взаимодействие ионов с веществом

Для цитирования: Б.А. Логинов, В.А. Беспалов, Ю.В. Хрипунов, А.Б. Логинов, В.Б. Логинов, А.А. Панфилов, Д.А.Пашков. 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.

Received: 25.02.2025 | Accepted: 30.02.2025 | DOI: https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.2.88.102
Original paper

PRIMARY ANALYSIS OF IMAGES FROM THE WORLD'S FIRST SPACE PROBE MICROSCOPE "CMM-2000C" IN THE EARTH SATELLITE "NANOPROBE-1"

B.A.Loginov[1, 5, 6], Head of Laboratory, *ORCID: 0000-0001-5081-1424* / ***b-loginov@mail.ru***
V.A.Bespalov[1], Corr. Member of RAN, Doct. of Sci (Tech), *ORCID: 0000-0003-4976-8515*

1 Национальный исследовательский университет МИЭТ, Зеленоград, Россия / National Research University of Electronic Technology (MIET), Zelenograd, Russia
2 Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева, г. Орел, Россия / Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia
3 МГУ имени М.В.Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия / Lomonosov Moscow State University, Physical Department, Moscow, Russia
4 МГУ имени М.В.Ломоносова, НИИ ядерной физики имени Д. В.Скобельцына, Москва, Россия / Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow, Russia
5 АО "Завод ПРОТОН", Зеленоград, Россия / JSC PROTON Plant, Moscow, Russia
6 Образовательный центр "Сириус", федеральная территория "Сириус", Россия / Educational Centre "Sirius", Sirius Federal Territory, Russia

Yu.V.Khripunov[2, 6], Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), Docent, *ORCID: 0000-0003-2250-0420*
A.B.Loginov[3, 1, 5], Postgraduate, *ORCID: 0000-0003-2090-5301*
V.B.Loginov[1, 5], Leading Designer, *ORCID: 0000-0002-2116-7411*
A.A.Panfilov[2], Engineer, *ORCID: 0009-0008-4726-8414*
D.A.Pashkov[4], Leading Designer, *ORCID: 0009-0004-9027-2671*

Abstract. The whole series of unique frames obtained over a year and a half from the world's first space scanning probe microscope "CMM-2000C", operating in outer space in the Earth's satellite Nanosonde-1 and capturing with nanometre precision changing the surface relief of a golden mirror exposed to solar wind and dust. Numerical analysis of gold relief frames on the change of roughness parameters, fractal dimensionality and statistics on grain sizes was obtained, graphs of change of these characteristics correlated with solar activity graphs are presented. Participation of a wide scientific community for interpretation of the obtained data is suggested.

Keywords: scanning probe microscopy, scanning tunnel microscopy, Earth satellite, space dust, solar wind, ion-matter interactions

For citation: B.A. Loginov, V.A. Bespalov, Yu.V. Khripunov, A.B. Loginov, V.B. Loginov, A.A. Panfilov, D.A. Pashkov. Primary analysis of images from the world's first space probe microscope "CMM-2000C" in the Earth satellite "Nanoprobe-1". NANOINDUSTRY. 2025. Vol. 18. No. 2. PP. 88–102. https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.2.88.102.

ВВЕДЕНИЕ

Россией в космос 27 июня 2023 года в спутнике Земли "Нанозонд-1" (https://r4uab.ru/satdb/nanozond-1/) был запущен (рис.1) первый в мире космический сканирующий зондовый микроскоп "CMM-2000C" (https://nauka.tass.ru/nauka/18422659), который успешно работает в открытом космосе уже больше полутора лет (https://www.mos.ru/news/item/136461073). Этот микроскоп был создан для двух важных задач, которые стали решаться впервые в мире: для изучения стойкости материалов космических кораблей к воздействию ионов солнечного ветра непосредственно в космосе, а также для выяснения, на каких орбитах еще нет облаков быстрой пыли, возникающей от столкновения старых неуправляемых спутников и их частей между собой. Проблема в том, что солнечный ветер обдирает, а пыль чеканит и облепляет корпуса, иллюминаторы, антенны и солнечные батареи кораблей [1].

Используя имеющийся в соответствии с патентом [2] приоритет, начато строительство новых аналогичных [3] космических микроскопов. Следующий запуск в спутнике НИУ МИЭТ планируется в 2025 году. А с первого в мире космического микроскопа "CMM-2000C" получено уже достаточно кадров, чтобы начать их анализировать.

МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ КАДРОВ

Анализируемые в данной публикации кадры получены в режиме сканирующей туннельной микроскопии. Заостренная платиновая игла

INTRODUCTION

Russia launched into space on 27 June 2023 the world's first space scanning probe microscope "CMM-2000C" (https://nauka.tass.ru/nauka/18422659) in the Earth's satellite "Nanoprobe-1" (https://r4uab.ru/satdb/nanozond-1/), which has been successfully operating in outer space for more than a year and a half (https://www.mos.ru/news/item/136461073). This microscope was designed for two important tasks that were the first in the world: to study spacecraft materials resistance to the effects of solar wind ions directly in space, and to find out in which orbits there are not yet clouds of fast dust resulting from the collision of old unguided satellites and their parts with each other. The problem is that the solar wind chips and the dust chases and coats the hulls, portholes, antennas and solar panels of ships [1].

Using the priority available under the patent [2], the design of new similar [3] space microscopes has been started. The next launch in the MIET satellite is planned for 2025. And enough frames have already been obtained from the world's first space microscope "CMM-2000C" to start analysing them.

FRAME ACQUISITION METHOD

The frames analysed in this publication were obtained in the mode of scanning tunnelling microscopy. A sharpened platinum needle, when the microscope is switched on or in



Рис.1. Первый в мире космический сканирующий зондовый микроскоп "СММ-2000С": a – примерный вид иглы и сканируемой ею поверхности золота, b – внешний вид микроскопа, c – процесс монтажа спутника "Нанозонд-1" с микроскопом в ракету, d – взлет ракеты

Fig.1. The world's first space scanning probe microscope "CMM-2000C": a – approximate view of the needle and the gold surface scanned by it, b – appearance of the microscope, c – process of mounting the "Nanoprobe-1" satellite with a microscope into a rocket, d – rocket take-off

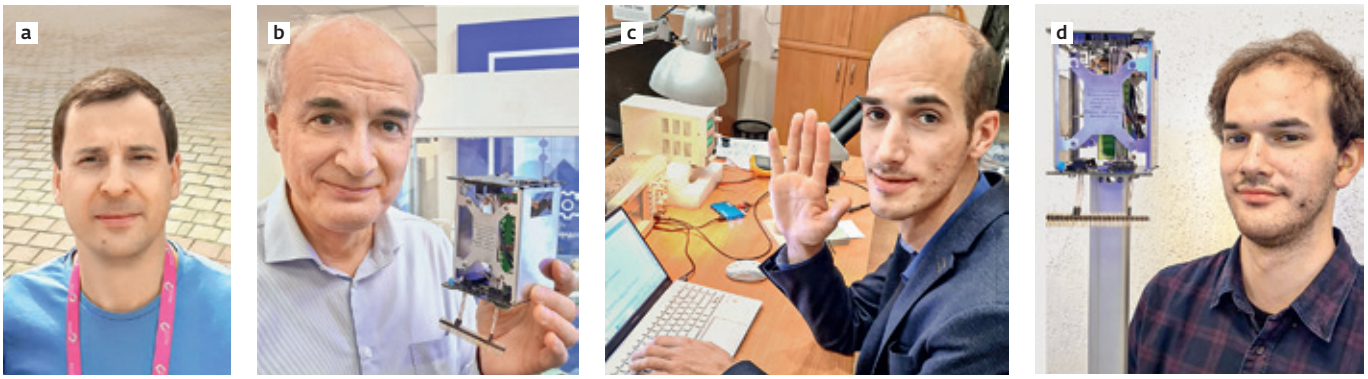


Рис.2. a – Юрий Хрипунов, руководитель миссии создания и запуска спутника "Нанозонд-1", организатор участия школьников в этом проекте в Образовательном центре Сириус и региональных центрах выявления и поддержки одаренных детей, b – Борис Логинов, автор проекта и микропроектов со школьниками и патента на космический микроскоп, создатель измерительных головок космического микроскопа "СММ-2000С" и его наземной версии "СММ-2000", c – Владимир Логинов, создатель программного обеспечения микроскопа, d – Артем Логинов, создатель электроники микроскопа

Fig.2. a – Yuri Khripunov, leader of the mission to build and launch the "Nanoprobe-1" satellite, organiser of schoolchildren's participation in this project at the Sirius Educational Centre and regional centres for identifying and supporting gifted children, b – Boris Loginov, author of the project and microprojects with schoolchildren and of the patent for the space microscope, creator of the measuring heads of the "CMM-2000C" space microscope and its ground version "CMM-2000", c – Vladimir Loginov, microscope software developer, d – Artem Loginov, microscope electronics developer

при включении микроскопа или в автоматическом режиме один раз в сутки может приближаться к полированной поверхности из золота и втечении примерно 5 мин сканировать на ней один и тот же участок 4×4 мкм. В остальное время суток игла отведена вверх и в сторону на расстояние около 0,5 мм, как это показано на рис.1. Поверхность золота при этом открыта для воздействий из открытого космоса. Золото выбрано как химически инертный материал, который не окисляется в условиях естественной земной атмосферы за время подготовки ракеты с микроскопом к старту, так и по механическим свойствам, близким к мягкой меди, которая используется в космосе [1] для изучения кратеров от попадания быстрых частиц пыли или микрометеоритов.

Микроскоп имеет процессор, который по цифровому интерфейсу передает при сканировании весь кадр в процессор спутника, а тот через УКВ-приемопередатчик на частоте 437 МГц транслирует этот кадр на Землю. К сожалению, длина одного пакета УКВ-передачи при используемых в спутниках типа Sputnix CubeSat OrbiCraft-Pro протоколах AX.25 (USP) не может быть более 204 (184) байт, так что в одном пакете нельзя передать даже одну строчку кадра. Каждая точка строчки кадра представляет собой 16-разрядную высоту рельефа, это 2 байта. В 204 байтах помещается только 102 точки, но для строчки микроскопного кадра этого мало. Поэтому мы приняли решение делить строчки кадра на части. Дополнительная

automatic mode, can approach a polished gold surface once a day and scan the same 4×4 μm area on it for about 5 minutes. During the rest of the day the needle is withdrawn upwards and sideways to a distance of about 0.5 mm, as shown in Fig.1. At this time, the surface of the gold is open to influences from the open space. Gold was chosen as a chemically inert material that does not oxidise in the natural Earth atmosphere during the time of preparation of the rocket with a microscope for launch, and by mechanical properties close to soft copper, which is used in space [1] to study craters from the ingress of fast dust particles or micrometeorites.

The microscope has a processor that transmits the entire frame to the satellite processor via a digital interface during scanning, and the latter transmits the frame to the Earth via a VHF transceiver at a frequency of 437 MHz. Unfortunately, the length of a single VHF transmission packet when used in satellites such as Sputnix CubeSat OrbiCraft-Pro AX.25 protocols (USP) can not be more than 204 (184) bytes, so in one packet can not be transmitted even one frame line. Each point of a frame line represents a 16-bit elevation, this is 2 bytes. Only 102 points fit into 204 bytes, but this is not enough for a microscope frame line. Therefore, we decided to divide the frame lines into parts. An additional difficulty arose due to the fact that the satellite passes the field of view of one antenna on

трудность при этом возникла из-за того, что спутник пролетает поле видимости одной антенны на Земле примерно за 15 мин, и за это время принять все части всех строчек кадра трудно. Поэтому в начале каждой части строчки мы записываем номер кадра, номер строчки и положение этой части в строчке, чтобы можно было ловить части строчек по-отдельности на разные антенны и далее пересылать их по сети Интернет в единый центр, где кадры сшиваются. Каждая часть строчки по алгоритму "CRC16 X-modem" вычисления контрольной суммы предварительно проверяется на безошибочность приема-передачи.

Далее кадры проходят подготовку для анализа. Спутник при вращении вокруг Земли то нагревается на Солнце, то охлаждается, когда "прячется" от нее за Землю. В начале каждой части строчки передается также температура микроскопа перед снятием этой строчки, на основе чего с учетом заранее проградуированного термодрейфа микроскопа делается поправка. Перед сканированием для испарения с поверхности золота осаждающихся на ней инородных атомов, мешающих качественному сканированию, для экономии энергии спутника прогрев делается не только за счет электричества, но и Солнца. Для этого сканирование начинается после прогрева на Солнце при начале захода спутника в тень от Земли и охлаждении при этом до 20 °С. Микроскоп обложен металлическими листами для защиты процессора от радиации, это дает также и запас тепла, так что с добавлением маломощного прогрева электричеством температура микроскопа за время сканирования снижается не более чем на один градус (рис.4). Это несущественно искажает картинку микроскопа. Следует отметить, что если процессор немного запаздывает включать сканирование и оно стартует при температуре немного ниже 20 °С, то и снижение температуры за время сканирования больше. Для исключения сбоев процессор микроскопа контролируется независимой системой, которая его оперативно перезагружает в случае зависания, например, из-за космической радиации.

В итоге с космического микроскопа по состоянию на 10.02.2025 получено 28 полных нормальных кадров (рис.7, 8), помимо которых, получены еще два неудавшихся кадра и один кадр от 16.03.2024, на котором удалась лишь треть кадра, позволившая, однако, выполнить по ней численный анализ. Для визуального анализа надо учитывать, что каждый следующий по дате кадр – это чаще всего снятие потоком ионов солнечного ветра материала поверхности, видной на предыдущем кадре, а иногда, возможно, разглаживание поверхности за счет релаксации атомов из-за энергии от солнечного ветра.

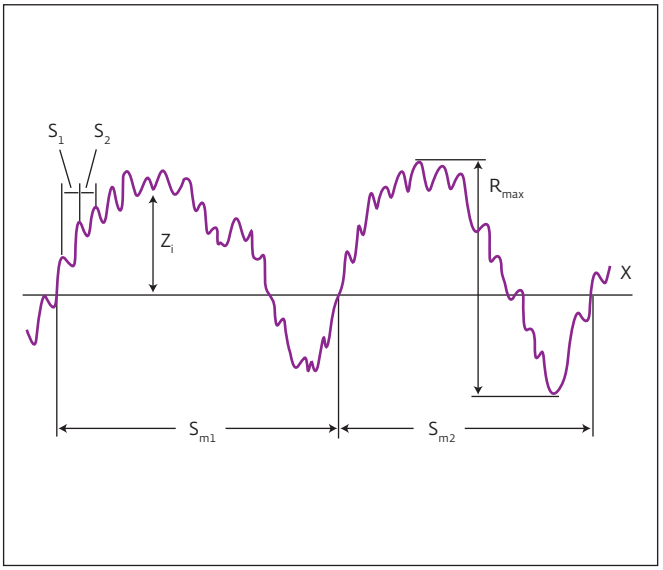


Рис.3. Вычисление параметров шероховатости: R_a – среднее от отклонений Z_i всех точек по вертикали от средней линии профиля, S_m – среднее от расстояний S_{m1}, S_{m2}... по горизонтали между пересечениями профилем средней линии при ходе профиля вверх, S – среднее от расстояний S_1, S_2... по горизонтали между максимумами профиля

Fig.3. Calculation of roughness parameters: R_a – average of deviations Z_i of all points vertically from the centre line of the profile, S_m – average of distances S_{m1}, S_{m2}... horizontally between crossings by the profile of the centre line during the profile upwards, S – average of distances S_1, S_2... horizontally between the maximums of the profile

the Earth for about 15 minutes, and during this time it is difficult to receive all parts of all lines of the frame. Therefore, at the beginning of each part of the line we record the frame number, line number and position of this part in the line, so that it is possible to catch parts of lines separately on different antennas, and then send them over the Internet to a single centre, where the frames are stitched together. Each part of the string by the algorithm "CRC16 X-modem" checksum calculation is preliminarily checked for error-free reception-transmission.

The footage is then prepared for analysis. The satellite, while rotating around the Earth, is heated by the Sun and cooled when it "hides" behind the Earth. At the beginning of each part of the line, the temperature of the microscope before taking this line is also transmitted, on the basis of which a correction is made taking into account the known thermal drift of the microscope. Before scanning, in order to evaporate foreign atoms deposited on

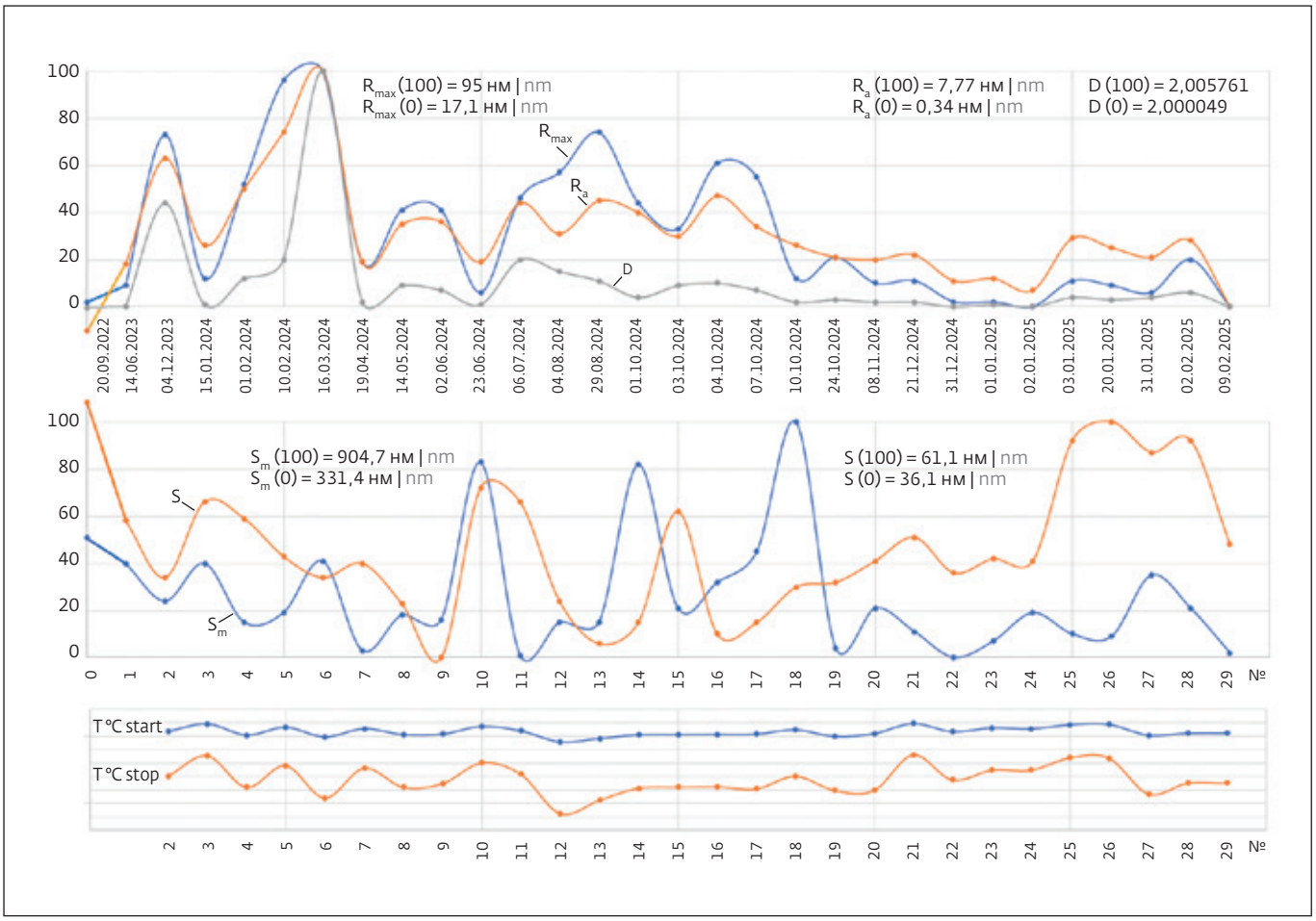


Рис.4. Графики изменения параметров пронумерованных по датам кадров из космоса, с графиком температур T °C start начала сканирования и T °C stop конца сканирования кадров и с данными по параметрам "нулевого" кадра от 20.09.2022, снятого с исходной поверхности золота на Земле до запуска спутника. Графики для возможности совместного отображения нормированы на шкалу 0...100, приведены значения всех параметров для уровня 0 и уровня 100 этих шкал

Fig.4. Graphs of changes in parameters of date-numbered frames from space, with a graph of temperatures T °C start of scanning and T °C stop end of scanning frames, and with data on parameters of the "zero" frame from 20.09.2022, taken from the original gold surface on the Earth before the launch of the satellite. Graphs for the possibility of joint display are normalised to the scale 0...100, the values of all parameters for level 0 and level 100 of these scales are given

Для информации, микроскоп, выпущенный 27 июня 2023 года в космос на орбиту с параметрами 541×559 км / 97.659°, равномерно снижался и по состоянию на 20.02.2025 находился на орбите с параметрами 478×489 км / 97.500°. По оценкам, микроскоп будет летать примерно до марта 2026 года, когда, снизившись до плотных слоев атмосферы, сгорит при входе в них. Есть надежда получить от него еще много интересных кадров об изменении поверхности золота, в том числе от начала взаимодействия с атмосферой.

АНАЛИЗ КАДРОВ

Первичный анализ кадров сделан штатным программным обеспечением [4] "земной

the gold surface, which interfere with the quality of scanning, and to save the satellite's energy, the heating is done not only by electricity, but also by the Sun. For this purpose, the scanning starts after warming up in the Sun when the satellite starts to enter the Earth's shadow and cools down to 20 °C. The microscope is covered with metal sheets to protect the processor from radiation, this also gives a heat reserve, so that with the addition of low-power heating by electricity the temperature of the microscope during the scanning decreases by no more than 1 degree (Fig.4). This does not significantly distort the microscope image. It should be noted that if the processor lags a little to switch on scanning

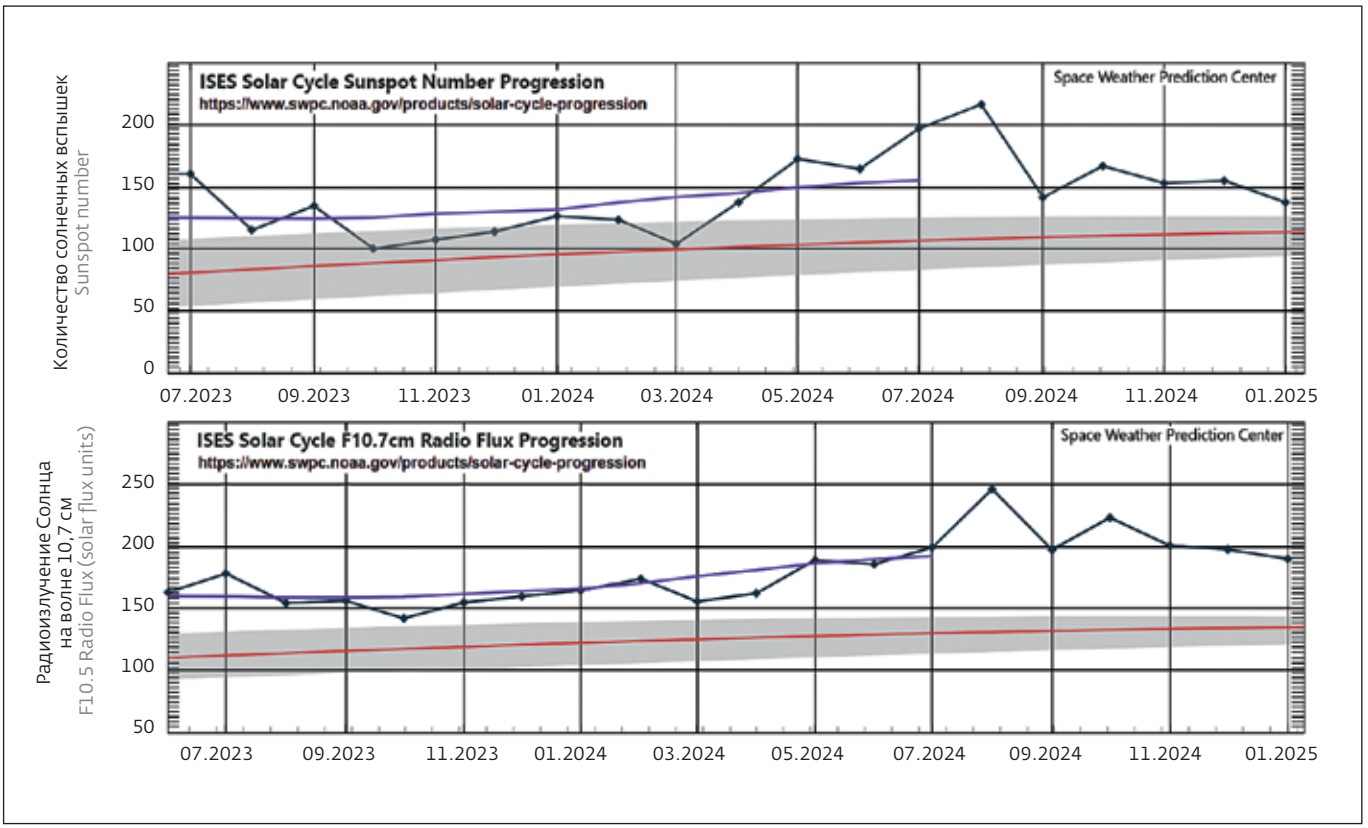


Рис.5. Соответствующий периоду полета космического микроскопа "СММ-2000С" график количества вспышек (Sunspot number), а также график плотности потока радиоизлучения Солнца (F10.5 Radio Flux) на длине волны 10,7 см (2800 МГц) в единицах потока 10^{-22} Вт·м$^{-2}$·Гц$^{-1}$ согласно ГОСТ Р 25645.166-2004, по которому прогнозируется срок службы спутников

Fig.5. Sunspot number (Sunspot number) graph corresponding to the "CMM-2000C" space microscope mission period, as well as the Sun's radio flux density graph (F10.5 Radio Flux) at a wavelength of 10.7 cm (2800 MHz) in flux units of 10^{-22} W·m^{-2}-Hz^{-1} according to GOST R 25645.166-2004, which is used to predict the lifetime of the satellites

версии" космического микроскопа "СММ-2000" (№96918 в Госреестре средств измерений РФ), графики рассчитанных параметров показаны на рис.4. В соответствии с международными стандартами и ГОСТ 25142 рассчитаны: полный разброс высот в кадре R_{max} от самой нижней до самой высокой точки рельефа, средняя шероховатость R_a, средний размер зерна S_m и средний размер S нанозерен, из которых состоят зерна. Графически это пояснено на рис.3.

Кроме того, штатной программой микроскопа "СММ-2000" для всех кадров вычислена величина фрактальной размерности D, близость которой к цифре "2" более чем к цифре "3" показывает, что поверхность представляет собой больше двухмерную плоскость, чем трехмерный, одинаково развитый во всех направлениях, объект. Фрактальная размерность D является безразмерной величиной и в первом приближении показывает степень развитости рельефа по высоте.

Для возможности анализа поведения вышеприведенных графиков параметров с официальных

and it starts at a temperature slightly below 20 °C, temperature decrease during scanning is greater. To avoid failures, the microscope processor is controlled by an independent system, which promptly restarts it in case of hang-up, for example, due to cosmic radiation.

As a result, 28 complete normal frames were obtained from the space microscope as of 10.02.2025 (Fig.7, 8), in addition to which two more failed frames were obtained, and one frame from 16.03.2024, in which only one third of the frame succeeded, allowing, however, to perform numerical analysis on it. For visual analysis we should take into account that each next frame by date is most often a removal by the solar wind ion flux of the surface material visible in the previous frame, and sometimes, perhaps, a smoothing of the surface due to relaxation of atoms due to energy from the solar wind.

For information, the microscope, released into space on 27 June 2023 into an orbit with

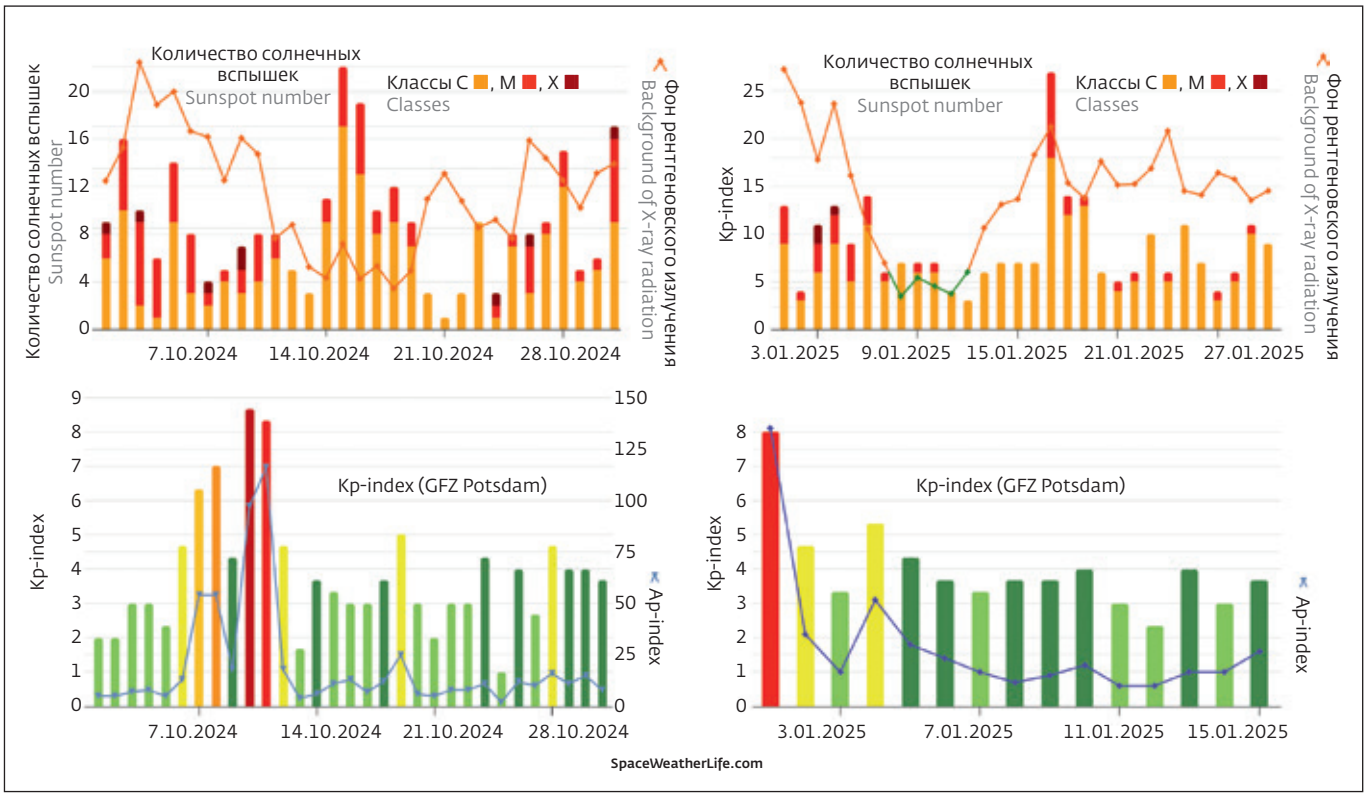


Рис.6. Более подробный график солнечных вспышек (Sunspot number) по месяцам (октябрь 2024 и январь 2025), в которые были получены несколько кадров от космического микроскопа "СММ-2000С", а также графики глобального планетарного индекса геомагнитной активности (Kp-index) в своей шкале, где "9" – экстремальный геомагнитный шторм со среднесуточным уровнем геомагнитной активности (Ap-index) в этих месяцах

Fig.6. A more detailed plot of solar flares (Sunspot number) for the months of October 2024 and January 2025, in which several frames from the "CMM-2000C" space microscope were acquired, as well as plots of the global planetary geomagnetic activity index (Kp-index) on its scale, where "9" is the extreme geomagnetic storm with the daily average geomagnetic activity level (Ap-index) in those months

сайтов получены графики (рис.5) солнечной активности за период работы космического микроскопа "СММ-2000С". За те месяцы, в которых были получены не один-два, а несколько кадров от космического микроскопа (октябрь 2024 года и январь 2025 года),получены и более подробные графики солнечной активности (рис.6).

ВЫВОДЫ

Соотнесение графиков изменения численных параметров рельефа поверхности золота в зависимости от графиков солнечной активности пока дает результаты, предположения по причине получения которых можно сделать пока только в некоторых периодах полета космического зондового микроскопа "СММ-2000С".

Например, появление на поверхности золота рытвин глубиной более 50 нм, наблюдаемое с даты получения кадра № 1 от 14.06.2023 до кадра № 2 от 4.12.2023, объясняется, возможно, длительным воздействием космоса между датами снятия этих кадров.

parameters 541×559 km / 97.659°, has been descending uniformly, and as of 20.02.2025 was in an orbit with parameters 478×489 km / 97.500°. It is estimated that the microscope will fly until about March 2026, when, having descended to the dense layers of the atmosphere, will burn up upon entering them. It is hoped to obtain from it many more interesting images of the changes in the surface of gold, including from the beginning of interaction with the atmosphere.

FRAMES ANALYSIS

The primary analysis of the frames was made by the standard software [4] of the "earth version" of the "CMM-2000" space microscope (No. 96918 in the State Register of Measuring Instruments of the Russian Federation), the graphs of the calculated parameters are shown in Fig.4. In accordance with international standards and the corresponding Russian standard GOST 25142, the following parameters were calculated: total

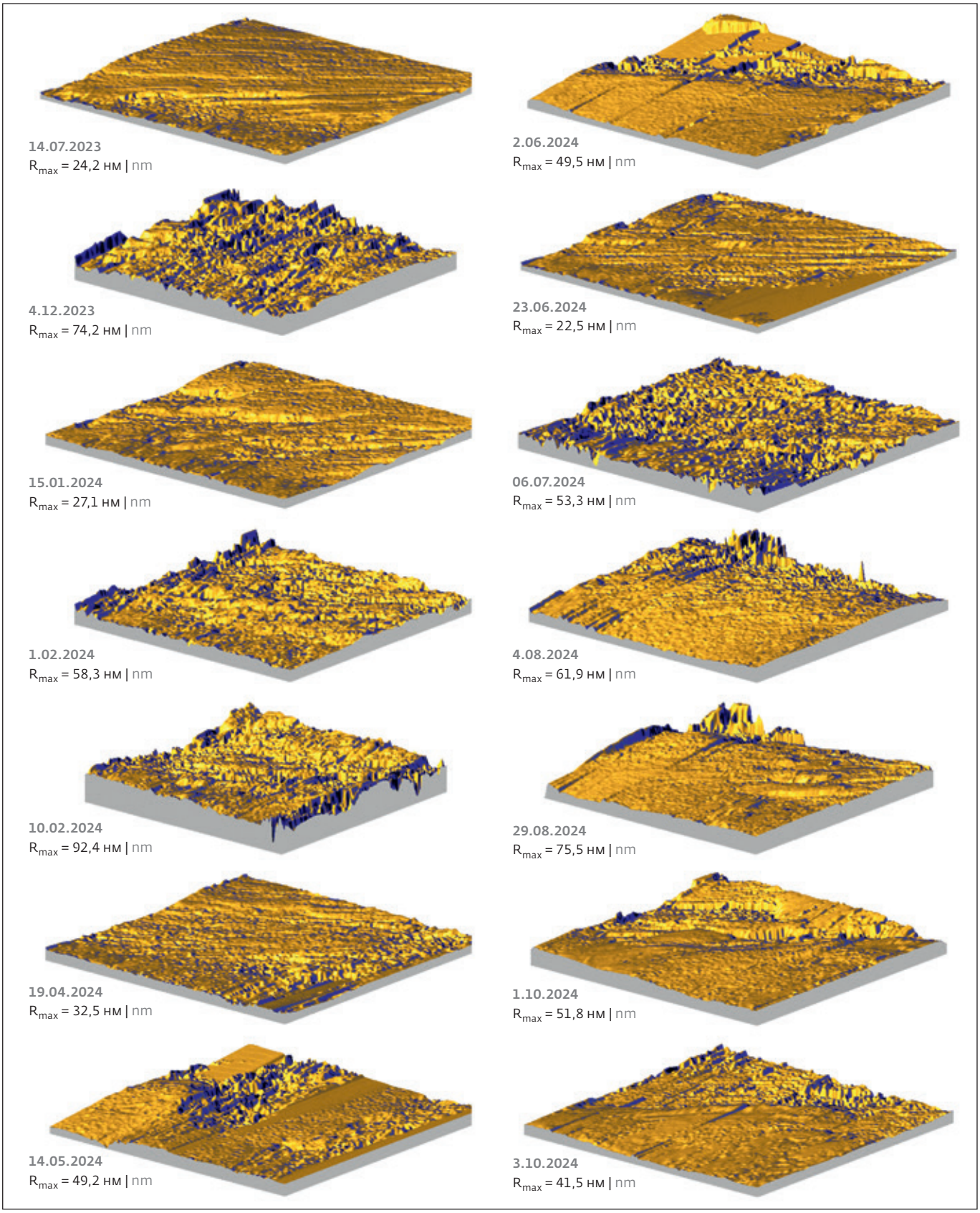


Рис.7. Кадры с космического микроскопа "СММ-2000С". Размер кадров 4 × 4 мкм. R_{max} – полный разброс высот в кадре
Fig.7. Frames from the "CMM-2000C" space microscope. The size of frames is 4 × 4 μm. R_{max} – full spread of heights in the frame

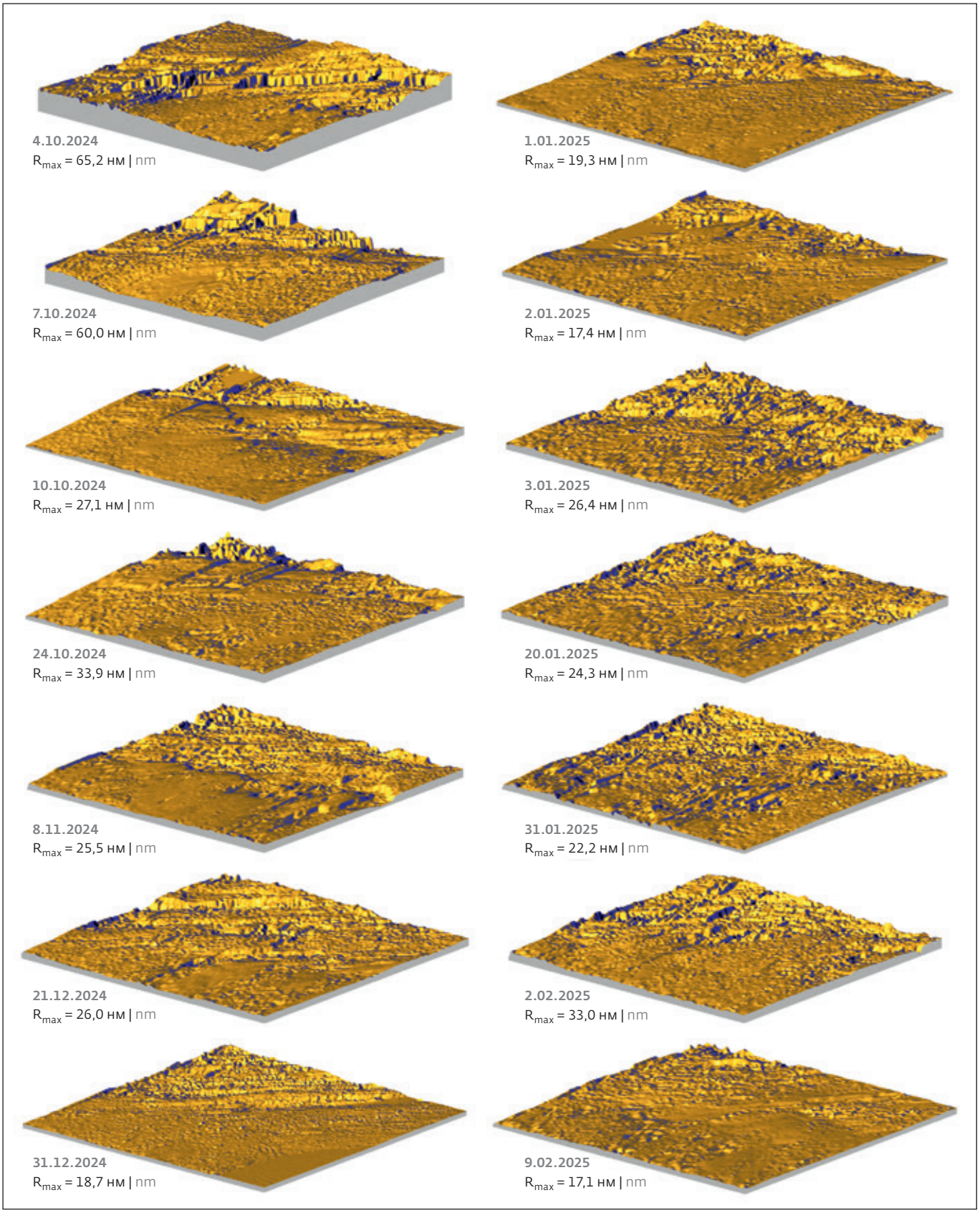


Рис.8. Кадры с космического микроскопа "СММ-2000С". Размер кадров 4 × 4 мкм. R_{max} – полный разброс высот в кадре
Fig.8. Frames from the "CMM-2000C" space microscope. The size of frames is 4 × 4 μm. R_{max} – full spread of heights in the frame

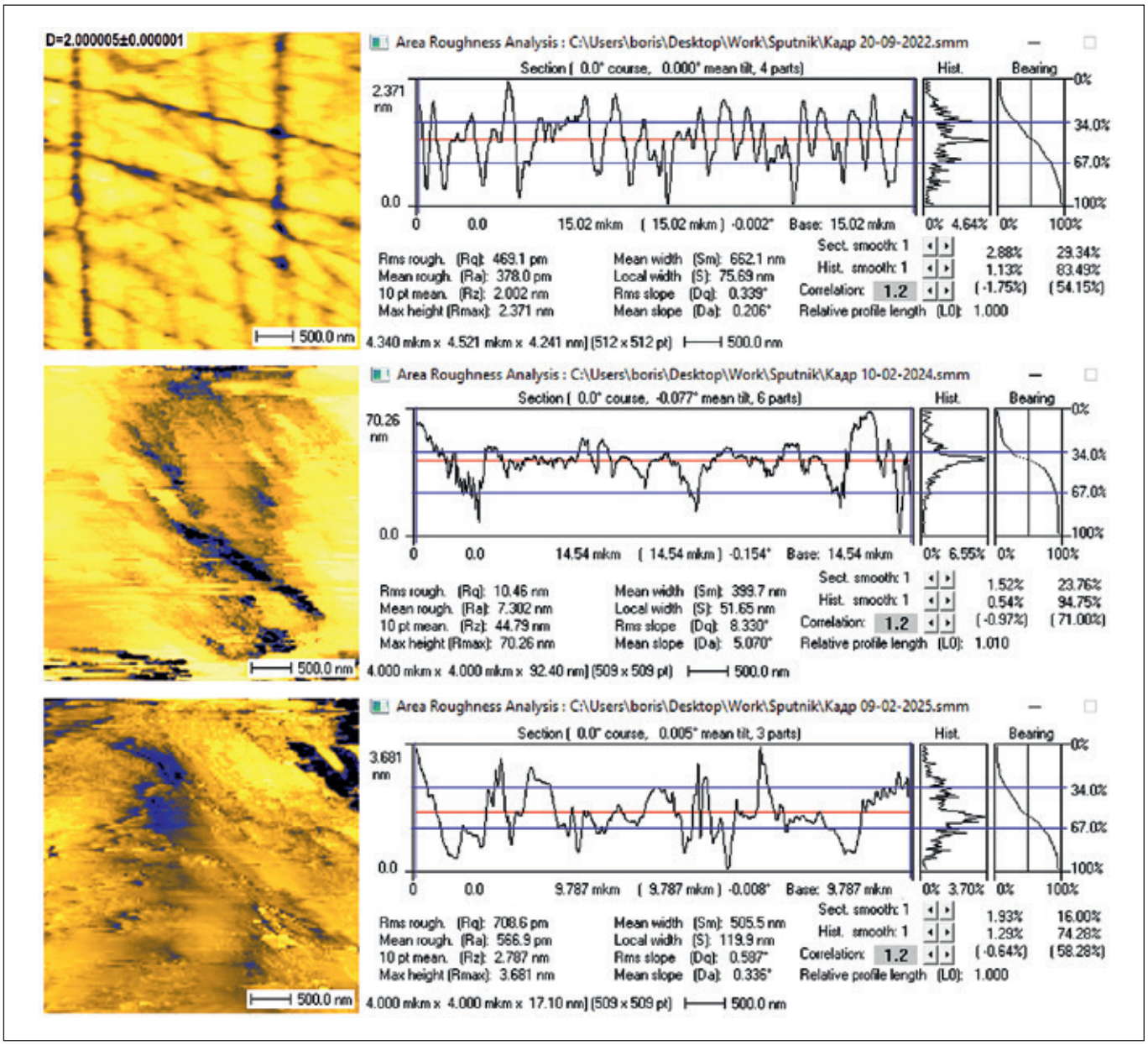


Рис.9. Вычисление девяти параметров шероховатости (Rq, Ra, Rz, Rmax, Sm, S, Dq, Da, L0) по снятому на Земле до запуска микроскопа в космос кадру № 0 от 20.09.2022 (вверху) с исходной поверхности золота, а также по кадрам № 5 от 10.02.2024 (посередине) и № 29 от 9.02.2025 (внизу). На кадре № 0 от 20.09.2022 видны следы от порошинок полировальной пасты, при этом средняя шероховатость Ra = 0,38 нм, на уровне размера одного атома, а фрактальная размерность D равна всего 2,000005, что означает: исходная поверхность золота является почти идеальной плоскостью. Анализ параметров шероховатости выполнен штатной программой микроскопа "СММ-2000"

Fig.9. Calculation of nine roughness parameters (Rq, Ra, Rz, Rmax, Sm, S, Dq, Da, L0) from the original gold surface taken on Earth before the microscope was launched into space, frame No. 0 dated 20.09.2022 (top), as well as from frames No. 5 dated 10.02.2024 (middle) and No. 29 dated 9.02.2025 (bottom). On the frame № 0 from 20.09.2022 one can see traces from powders of polishing paste, at that the average roughness Ra = 0.38 nm, at the level of the size of one atom, and the fractal dimension D is equal only to 2.000005, which means: the initial surface of gold is almost a perfect plane. The analysis of roughness parameters was performed by the standard software of "CMM-2000" microscope

В ноябре-декабре 2024 года визуально хорошо просматривается рост и слияние зерен (рис.11), что объясняется, возможно, небольшим прогревом

height spread in the frame R_{max} from the lowest to the highest point of the relief, average roughness R_a, average grain size S_m and average size S

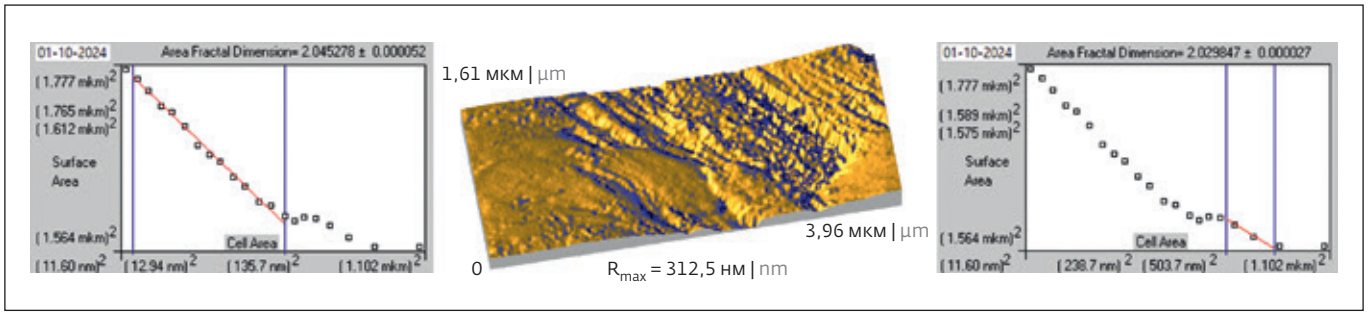


Рис.10. Особенный случай: на кадре №14 от 01.10.2024 график вычисления фрактальной размерности показывает, что на поверхности присутствуют два разных типа фрактально самоподобных групп объектов – в диапазоне размеров объектов от 12,94 × 12,94 до 135,7 × 135,7 нм, и в диапазоне от 238,7 × 238,7 нм до 1,102 × 1,102 мкм. Фрактальный анализ выполнен штатной программой микроскопа "СММ-2000"

Fig.10. Special case: on frame No.14 of 01.10.2024 the graph of fractal dimension calculation shows that two different types of fractally self-similar groups of objects are present on the surface – in the range of object sizes from 12.94 × 12.94 nm to 135.7 × 135.7 nm, and in the range from 238.7 × 238.7 nm to 1.102 × 1.102 µm. The fractal analysis was performed by the regular software of the "CMM-2000" microscope

поверхности золота при среднем уровне солнечной активности в этот период.

Вероятно также, что в июне и октябре 2024 года, а также в январе 2025 года обнаружено падение на поверхность золота плотного потока частиц космической пыли (рис.12), которые частично убираются зондом при последующем сканировании. Необходимо разобраться с тем, какие треки могут возникать при катании слабо электропроводной пылинки зондом, и уже разрабатывается модификация [5] космического зондового микроскопа, которая будет регистрировать пыль с повышенной точностью.

Однако большинство результатов пока не имеет ни ответов, ни предположений. В этой связи мы формулируем следующие вопросы:

1. Почему шероховатость поверхности (R_{max}, R_a, D) через полтора года воздействия солнечного ветра, претерпевая множественные циклы увеличения и уменьшения, возвратилась в феврале 2025 года к малой шероховатости почти как у идеальной исходной поверхности золота (рис.4, 9)? Отсутствие бороздок от полировки, которые были на исходной поверхности, говорит о структурной перестройке в полете, но не отвечает на вопрос механизма сглаживания.
2. Почему за всего лишь один день может сильно меняться средний диаметр зерен S_m, но при сохранении уровня солнечной активности на том же уровне на следующий день он может возвращаться обратно (рис.4)?
3. Почему монофрактальная поверхность на небольшое время превращается в мультифрактальную (рис.10) и потом возвращается обратно?
4. Почему изменение латеральных размеров зерна S_m не коррелирует с изменениями

of nanograins, which make up grains. This is explained graphically in Fig.3.

Besides, the staff software of the "CMM-2000" microscope for all frames calculated the value of fractal dimension D, the closeness of which to the figure "2" more than to the figure "3" shows that the surface is more a two-dimensional plane than a three-dimensional object equally developed in all directions. Fractal dimension D is a dimensionless value, and in the first approximation shows the degree of relief development by height.

To be able to analyse behaviour of the above graphs of parameters from official sites, we obtained graphs (Fig.5) of solar activity for the period of operation of the "CMM-2000C" space microscope. For those months in which not one or two, but several frames from the space microscope were received (October 2024 and January 2025), more detailed graphs of solar activity were obtained (Fig.6).

CONCLUSIONS

The correlation of graphs of changes in numerical parameters of the gold surface relief depending on the solar activity graphs has so far yielded results, the assumptions for which can be made so far only in some periods of the "CMM-2000C" space probe microscope flight.

For example, the appearance of potholes deeper than 50 nm on the gold surface observed from the date of frame No.1 of 14.06.2023 to frame No.2 of 4.12.2023 is possibly due to prolonged exposure to space between the dates these frames were taken.

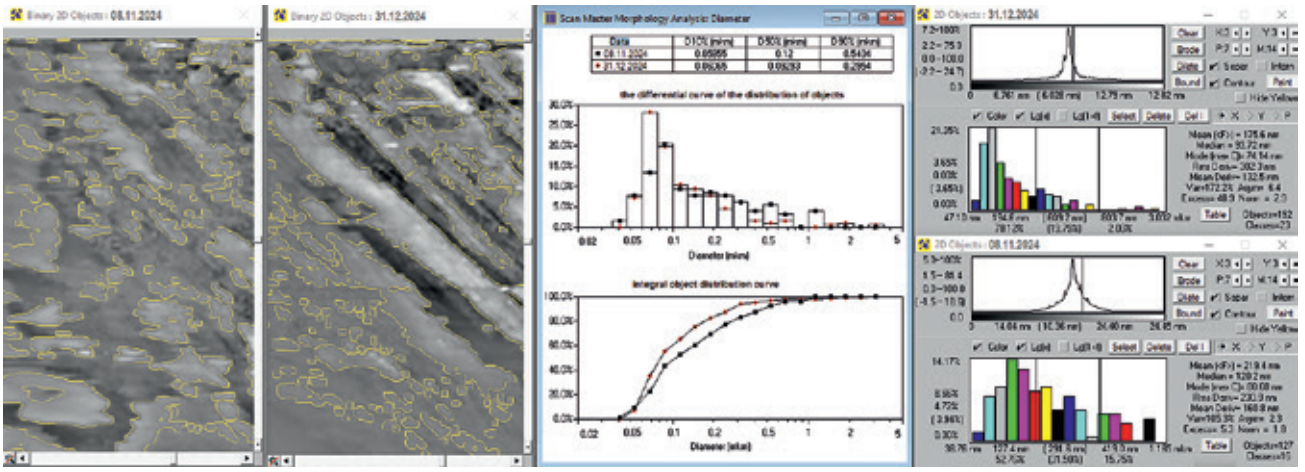


Рис.11. Изменение распределения диаметров объектов (вычисляемых как Feret-диаметр, среднее от 18-ти проекций объекта на линии, наклоненные к горизонтали, каждая следующая через 10 градусов) примерно за два месяца воздействия солнечного ветра, с кадра №20 от 08.11.2024 до кадра №22 от 31.12.2024. Морфологический анализ выполнен штатной программой микроскопа "СММ-2000"

Fig.11. Change in the distribution of object diameters (calculated as Feret-diameter, the average of 18 projections of the object onto lines inclined to the horizontal, each following after 10 degrees) over approximately two months of solar wind exposure, from frame No.20 of 08.11.2024 to frame No.22 of 31.12.2024. Morphological analysis was performed by the standard software of "CMM-2000" microscope

высотных параметров зерен R_a (рис.4), когда между этими параметрами чаще всего есть корреляция?

5. Почему максимальное размалывание поверхности с достижением максимума по шероховатости R_a в феврале 2024 года происходит во время более спокойного Солнца, а не в максимуме активности в октябре 2024 года?
6. Почему в середине октября 2024 года, в период максимальных вспышек на Солнце, поверхность зеркала не сильно изменяется, однако в январе 2025 года, при меньшей активности Солнца, сильно приглаживается? Не говорит ли это о том, что можно предположить сложный, нелинейный, инверсный или даже пороговый характер воздействия плазмы от Солнца на поверхность, и тогда принятое в мире предположение о пропорциональности величины среднестатистического износа спутников от величины солнечной активности, возможно, надо скорректировать.

ОБРАЩЕНИЕ К НАУЧНОМУ СООБЩЕСТВУ

Вышеуказанные космические снимки, надеемся, как и многие уникальные данные из космоса, например, снимки 1970-х годов с поверхности Венеры, несмотря на их некое несовершенство, как у всех пионерских начинаний, могут оказаться полезными и приоткрыть тайны

In November-December 2024, grain growth and coalescence are visually well observed (Fig.11), which is probably due to a slight warming of the gold surface at the average level of solar activity during this period.

It is also likely that in June and October 2024, as well as in January 2025, a dense stream of cosmic dust particles is detected falling on the gold surface (Fig.12), which are partially removed by the probe in subsequent scans. It is necessary to understand what tracks can arise when a weakly electrically conductive dust particle is rolled by the probe, and modification [5] of the space probe microscope that will register dust with increased accuracy is already being developed.

However, most of the results still have no answers or assumptions. We therefore formulate the following questions:

1. Why surface roughness (R_{max}, R_a, D) after a year and a half of exposure to the solar wind, undergoing multiple cycles of increase and decrease, returned in February 2025 to a small roughness almost like the ideal initial gold surface (Fig.4, 9). The absence of polishing grooves that were on the original surface suggests structural rearrangement in flight, but does not answer the question of the smoothing mechanism;

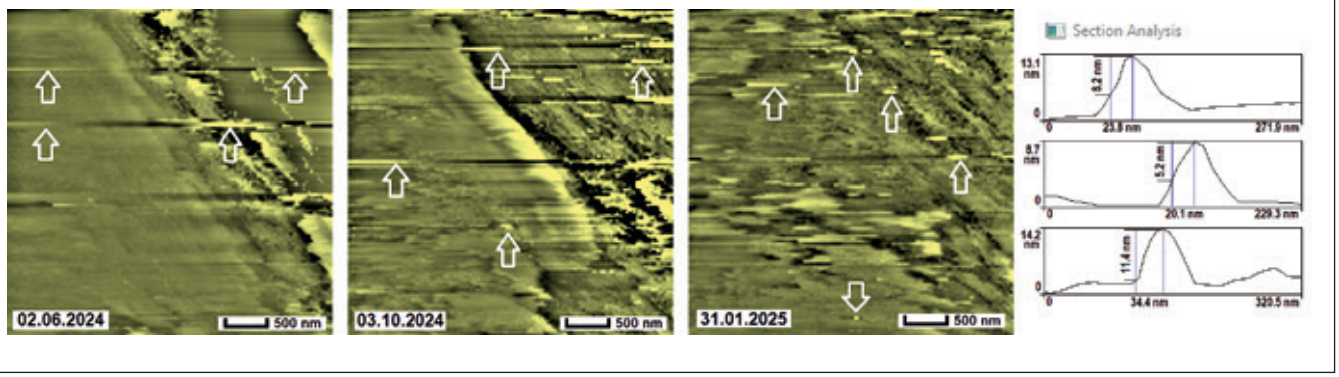


Рис.12. Анализ характерных сечений ярких точек, а также горизонтальных треков на кадрах, возможно связанных с упавшими на поверхность пылинками из космоса, которые при слабой проводимости двигаются зондом при сканировании. Анализ сечений выполнен штатной программой микроскопа "СММ-2000"

Fig.12. Analyses of characteristic cross sections of bright spots, as well as horizontal tracks in the frames, possibly related to dust particles from space that have fallen to the surface and are moved by the probe during scanning at weak conductivity. The analysis of cross sections was performed by the standard software of "CMM-2000" microscope

по истечении многих лет. Полученные с первого в мире космического зондового микроскопа "СММ-2000С" кадры нуждаются в том, чтобы их под разными углами зрения рассмотрели исследователи с различным опытом, в том числе в области взаимодействия ионов с веществом и в области исследования открытого космоса и параметров солнечного ветра. Возможно для интерпретации полученных результатов необходимо проведение моделирующих ситуацию открытого космоса экспериментов в установках и ускорителях на Земле.

Авторы проекта первого в мире зондового микроскопа в открытом космосе будут рады интересу к анализу полученных результатов со стороны научного сообщества. Обращайтесь за исходными кадрами, они могут быть предоставлены в нескольких форматах – в формате ".smm" для многочисленных владельцев "земных версий" космического микроскопа "СММ-2000" с развитым пакетом анализа изображений, а также в формате ".bmp" для пользователей программы Gwyddion, и в формате ".txt" без потери точности первичных кадров для возможности работы с кадрами в разном программном обеспечении, например, Excel. Возможно также предоставление таблицы, по которой построен график вычисленных характеристик кадров по рис.4. Единственное условие – оперативно делать научные публикации по результатам анализа этих кадров, с соавторством обеспечивших получение этих кадров авторов (рис.2) и ссылкой на эту публикацию.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена благодаря партнерству Национального исследовательского университета

2. Why the average Sm grain diameter can change a lot in just one day, but when the solar activity level remains at the same level the next day it can go back up (Fig.4)?
3. Why a monofractal surface turns into a multifractal surface for a small time (Fig.10) and then goes back again?
4. Why changes in lateral grain sizes S_m do not correlate with changes in grain height parameters R_a (Fig.4), when there is most often a correlation between these parameters?
5. Why the maximum surface grind with a maximum in R_a roughness in February 2024 occurs during a quieter Sun, rather than at the activity maximum in October 2024?
6. Why in mid-October 2024, during the period of maximum solar flares, the mirror surface does not change much, but in January 2025, with less solar activity, it is strongly smoothed? Doesn't this suggest that we can assume a complex, non-linear, inverse or even threshold character of the impact of plasma from the Sun on the surface, and then the assumption accepted in the world about the proportionality of the value of the average statistical wear of satellites to the value of solar activity may need to be corrected.

OUTREACH TO THE SCIENTIFIC COMMUNITY

The above-mentioned space images, hopefully, like many unique data from space, such as 1970s images from the surface of Venus, despite their imperfections, as with all pioneering endeavours, may prove useful and reveal secrets after many

МИЭТ, АО "Завод ПРОТОН", Зеленоград, Орловского государственного университета имени И.С.Тургенева, Образовательного центра "Сириус", Физического факультета и НИИ ядерной физики имени Д.В.Скобельцына МГУ им. М.В.Ломоносова, а также благодаря работе компании "Спутникс" по изготовлению платформы спутника и поддержке проекта Фондом содействия инновациям (Россия).

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. **Беспалов В.А.**, **Логинов Б.А.**, **Новиков Л.С.**, **Никитушкина О.Н.** Исследование ударной микроструктуры на поверхности медной пластины, экспонировавшейся в открытом космосе. Физика и химия обработки материалов. 2008. № 2. С. 28–31.
2. **Логинов Б.А.** Комплекс зондовой микроскопии для работы в космическом пространстве и атмосфере. Патент на изобретение 2778278 C1, 17.08.2022, Заявка № 2021128836 от 04.10.2021.
3. **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
4. **Логинов Б.А.**, **Логинов П.Б.**, **Логинов В.Б.**, **Логинов А.Б.** Зондовая микроскопия: применения и рекомендации по разработке. НАНОИНДУСТРИЯ. 2019. № 6. С. 352–365. https://doi.org/10.22184/1993-8578.2019.12.6.366.369
5. **Логинов Б.А.**, **Беспалов В.А.**, **Образцов А.Н.**, **Логинов А.Б.**, **Логинов В.Б.**, **Хрипунов Ю.В.**, **Щербина М.А.**, **Севостьянова Д.А.**, **Богданова Д.С.**, **Горбачев Р.Г.**, **Кондратьева К.Е.**, **Лебедева М.А.**, **Мульгин А.А.**, **Шевченко Д.А.** Разработка широкопольного сканера-профилометра и новых способов измерения твердости для первого в мире атомно-силового микроскопа спутника Земли. НАНОИНДУСТРИЯ. 2024. Т. 17. № 5. С. 248–258. https://doi.org/10.22184/1993-8578.2024.17.5.248.258

years. The images obtained from the world's first space probe microscope, the "CMM-2000C", need to be viewed from different angles by researchers with different backgrounds, including in the field of ion-matter interactions and in the field of open space and solar wind research. Open space modelling experiments in facilities and accelerators on Earth may be necessary to interpret the results.

The authors of the project of the world's first probe microscope in open space will be glad to see the interest of the scientific community in analysing the results obtained. Please ask for the initial frames, they can be provided in several formats – in ".smm" format for numerous owners of "earth versions" of "CMM-2000" space microscope with powerful image analysis package, as well as in ".bmp" format for users of "Gwyddion" software, and in ".txt" format without loss of accuracy of primary frames for possibility to work with frames in different software, for example, "Excel". It is also possible to provide a table on which the graph of calculated characteristics of frames according to Fig.4 is plotted. The only condition is to promptly make scientific publications based on the results of the analysis of these frames, with co-authorship of the authors who provided these frames (Fig.2) and reference to this publication.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out thanks to the partnership of the National Research University MIET, JSC "Zavod PROTON", Zelenograd, I.S.Turgenev Oryol State University, the Sirius Educational Centre, the Physical Department and the D.V. Skobeltsyn Research Institute of Nuclear Physics of the Lomonosov Moscow State University, as well as thanks to the work of the Sputnix Company in manufacturing the satellite platform and the support of the project by the Russian Foundation for Assistance to the Development of Small Enterprises in the Scientific and Technical Field (FASIE).

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.*

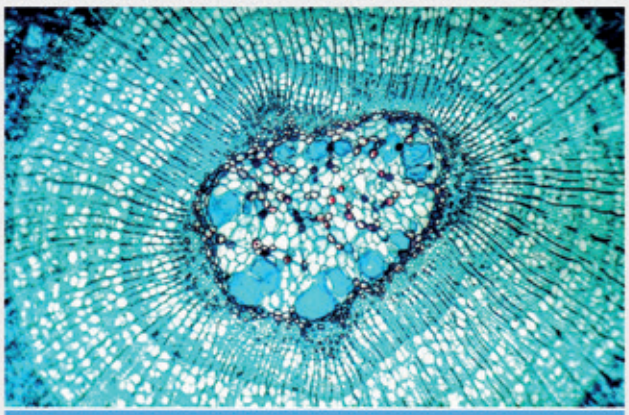
ЗАВОД ПРОТОН



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.



Все эти три уникальные модели: «атомный», «термоядерный» и «космический» варианты микроскопа СММ-2000 – представлены на выставке **«Всевидящее око»** в павильоне **АТОМ на ВДНХ, г. Москва до 28.05.2025**

+7 (495) 364-60-93 z-proton.ru microscopy.su b-loginov@mail.ru

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

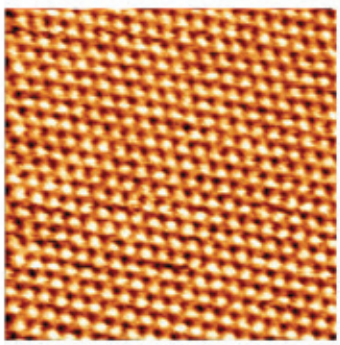


Микроскоп СММ-2000 работает со стандартными зондами-кантилеверами, имеет 3 основных режима сканирующей туннельной, полуконтактной и контактной атомно-силовой микроскопии, а также более 25 дополнительных режимов по снятию карт различных физических характеристик.

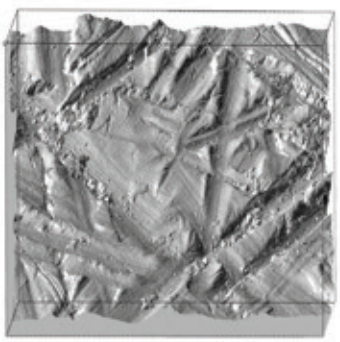




- Увеличение от 2 тыс. до 10 млн. крат
- Разрешение вплоть до АТОМОВ
- Трехмерный вид поверхности
- Измерение размеров от 0,2 нм до 40 мкм
- Распределение размеров зерен
- Анализ шероховатости до 0,2 нм
- Техподдержка 24/7 на «микроскоп.su»
- Серийный выпуск в России
- Для точных производств, науки и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



АТОМЫ ПИРОГРАФИТА
кадр 8,8×8,8 нм



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

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.