



# ПЕРВЫЙ В МИРЕ СКАНИРУЮЩИЙ ЗОНДОВЫЙ МИКРОСКОП В ВИДЕ СПУТНИКА КАК СТАРТ ЭТАПА НАУЧНЫХ СПУТНИКОВ-ЛАБОРАТОРИЙ

## THE WORLD'S FIRST SCANNING PROBE MICROSCOPE AS A SATELLITE A NEW STAGE OF THE SCIENTIFIC SATELLITE LABORATORIES

Б.А.Логинов\*, начальник научно-исследовательской лаборатории атомной модификации и анализа поверхности полупроводников, (ORCID: 0000-0001-5081-1424), Scopus 7004632170 / b-loginov@mail.ru  
B.A.Loginov\*, Head of Laboratory of Atomic Modification and Analysis of Semiconductor Surface

DOI: 10.22184/1993-8578.2021.14.5.270.274

Получено: 8.08.2021 г.

На примере разработки первого в мире зондового микроскопа – спутника Земли, предлагается новый этап экспериментальных методов для различных наук – создание спутников-лабораторий, то есть вынос экспериментов из земных лабораторных установок непосредственно в космос в виде спутников Земли вместе с приборами и изучаемыми в них наборами объектов.

In this paper we proposed a new stage of the experimental methods for various sciences as exemplified by the world's first scanning probe microscope (SPM) designed as a satellite, i.e., taking out experiments out of the Earth laboratories directly in space to make them satellites complete with instrumentation and a set of objects to be studied.

### ВВЕДЕНИЕ

Более чем 40-летняя история развития зондовой микроскопии [1, 2] при контакте с еще более развитой космической областью на многопрофильной площадке образовательного центра "Сириус" (г. Сочи) неожиданно привела к зарождению идеи нового класса экспериментальных методов для различных наук. Первопричиной этого явилось понижение стоимости малых спутников вместе с выводом их в космос, например, почти до 30 тыс. долл. США для малых спутников серии CubeSat объемом от одного до шести литров, с перспективой снижения этой стоимости в ближайшие годы до уровня около 5 тыс. долл. США для спутников более мелкого формата. В связи с этим у автора статьи возникла и развилась идея, что многие эксперименты, например по изучению материалов для космических аппаратов, которые проводятся в земных

условиях в различных вакуумных установках высоких энергий, включая, например, ускорители и Токамаки, имеет смысл вывести непосредственно в космос в виде спутников вместе с теми приборами, которые измеряют необходимые характеристики материалов, и испытывать эти материалы в реальных условиях космоса, а не в создаваемых приближенных к ним условиях на Земле. Речь идет фактически о создании спутников-лабораторий различного назначения.

Множество таких спутников-лабораторий, годами летающих в космосе, могут управляться с Земли и передавать на Землю тысячи кадров и других данных о поведении изучаемых в космосе объектов, включая и твердые материалы, планируемые для использования в перспективных космических аппаратах, и, например, микробиологические объекты. Питание

\* Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники" (НИУ МИЭТ), 124498, Москва, Зеленоград, Россия / National Research University of Electronic Technology (MIET), 124498, Moscow, Zelenograd, Russia.



приборов в спутниках легко осуществляется от аккумуляторов с подзарядкой по необходимости от солнечных батарей.

Если помечтать, то можно предположить в будущем даже возможность автоматической и быстрой, пожалуй, намного быстрее, чем это возможно на Земле, передачи изучаемых объектов и образцов из одних спутников-лабораторий с одними приборами по необходимости в другие спутники-лаборатории с другими приборами для других исследований. При этом название российской программы "Дежурный по планете" по выпуску в космос десятков университетских спутников, возможно, подходит и для идеи спутников-лабораторий, так как если мы вынесем в космос исследования, то есть вероятность, что на Земле опасных исследовательских установок нужно уже будет меньше.

Стоимость спутника-лаборатории, который может полностью амортизироваться, например, за 2-3 года естественного снижения орбиты с высоты запуска, например в 500 км, до снижения и сгорания в плотных слоях атмосферы, все равно может оказаться в десятки раз меньше стоимости экспериментов в земных лабораторных установках.

Солнечный ветер, представляющий собой поток ионов со скоростями до 200 км/с и выше, широкий спектр сильного инфракрасного, видимого и ультрафиолетового света, рентген различной жесткости, космические частицы высокой энергии, а также множество микро- и нанопыли

с космическими скоростями на разных орбитах, возникшей от аварий спутников, в сочетании с естественно-космическими микро- и нанометритами [3] широкого спектра скоростей и другими воздействиями – такие реальные условия открытого космоса трудно создать на Земле и, стало быть, трудно всесторонне испытать на Земле материалы для работы в условиях космоса.

Кроме этого, если даже и не ставится задача изучения материалов для понимания возможностей их перспективной работы в космосе, интерес могут представлять исследования материалов, объектов, каких-то процессов или чего-либо еще в том спектре воздействий, которые естественным образом предоставляет открытый космос, причем как во всем этом спектре, так и в необходимой его части при применении методов ухода от остальной части воздействий. Ввиду длительного нахождения спутника в космосе открывается также возможность продолжительных непрерывных экспериментов, что может быть интересно, например, для микробиологии.

### **ПРОТОТИП ПЕРВОГО В МИРЕ СЗМ В ВИДЕ СПУТНИКА**

Примером реализации идеи разработки спутников-лабораторий стало создание прототипа первого в мире сканирующего зондового микроскопа в виде спутника Земли, публично анонсированное [4, 5, 6] на различных онлайн-конференциях начиная с октября 2020 года. Спутник-микроскоп

## **INTRODUCTION**

When more than 40-year old history of the probe microscopy development [1, 2] came in contact with an even more sophisticated space industry on the Sirius Educational Center multidisciplinary platform (Sochi) has suddenly led to germination of a novel idea to develop a new class of experimental methods for various sciences. The first reason was to reduce the cost of small satellites, including their launch into space, e.g., down to USD 30,000 in case of CubeSat series small satellites having volume ranging from one to six litres.

In future we expect a further decrease of these costs down to about USD 5,000 for still smaller satellites in the next few years. In this connection the author put forward and developed an idea that it makes sense to shift many experiments, e.g., a study of the spacecraft materials that are now made on the Earth in various high-energy vacuum installations, including accelerators and tokamaks, into space so that they are conducted in satellites equipped with necessary instruments to measure characteristics of the materials and testing them in the real space

environment, not under the simulated conditions on the Earth. Actually, we can talk about a development of the laboratory satellites That means, actually, manufacturing of the laboratory satellites of various applications.

Numerous laboratory satellites flying in space can be controlled from the Earth and send us thousands of frames and other data related to the cosmic object's behavior, including hard materials planned to be used in perspective spacecraft and, for example, microbiology objects. Instrumentation installed on such satellites can be easily

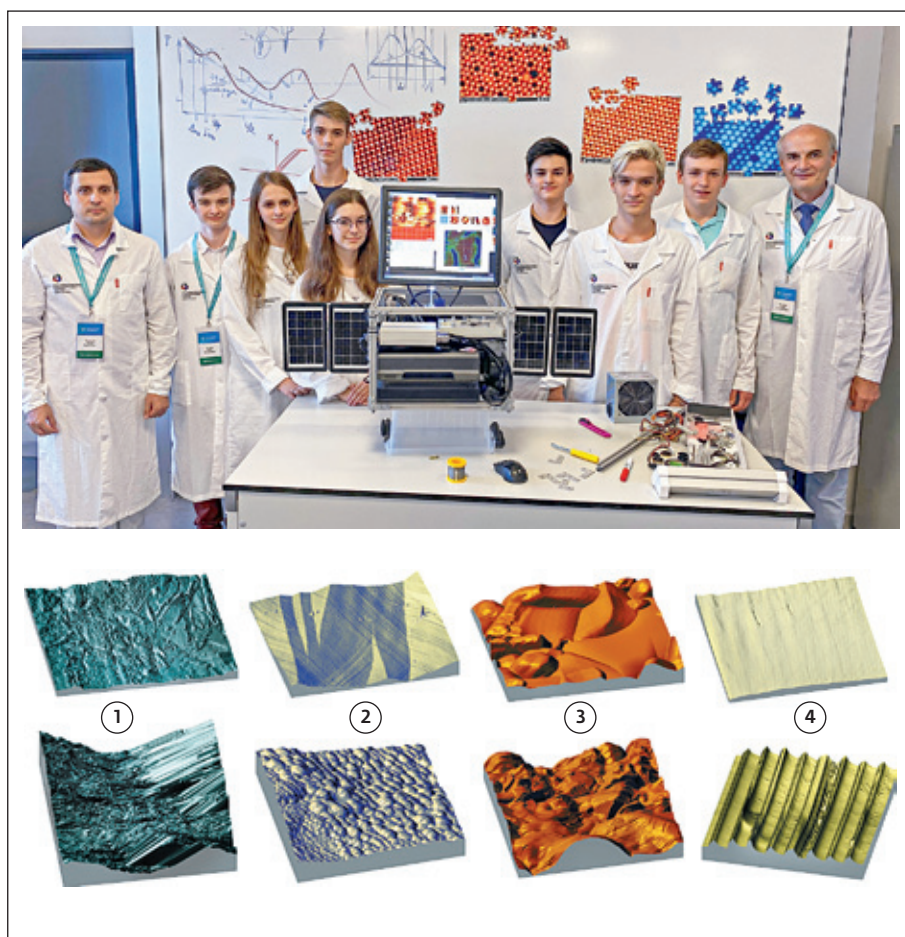


Рис.1. Первый в мире сканирующий зондовый микроскоп в формате спутника Земли (вверху) с полученными в нем кадрами размером  $8 \times 8$  мкм исходной (вверху) и подвергнутой воздействию плазмы (внизу) поверхности образцов графена (1), висмута (2), пьезокерамики (3), а также полимера (4), подвергнутого при сканировании циклам ультрафиолетового освещения. Разброс высот в кадрах: 265, 169, 1326 и 81 нм для кадров 1–4 вверху; 1531, 1344, 3212 и 1636 нм для кадров 1–4 внизу

Fig.1. The world's first scanning probe microscope as an Earth satellite (at the top) and the sample frames of  $8 \mu\text{m} \times 8 \mu\text{m}$  obtained in the initial (at the top) and subjected to plasma (in the bottom) surface of graphene (1), bismuth (2), piezoceramics (3), as well as polymer (4), subjected to scanning cycles of ultraviolet lighting. Sparkling heights in frames: 265 nm, 169 nm, 1326 nm and 81 nm for frames 1–4 at the top, and 1,531 nm, 1344 nm, 3212 nm and 1636 nm for frames 1–4 below

был сделан из серийного микроскопа СММ-2000 в июле 2021 года на площадке образовательного центра "Сириус" [10] командой из десяти человек (рис.1, слева направо), в их числе: методист "Сириуса" по направлению нанотехнологии смены "Большие вызовы" Хрипунов Юрий (г. Орел), студент МИЭТ Оразов Илья (г. Орел), одаренные школьники Ключкина Екатерина (г. Астрахань), Лопатин Андрей

(г. Бийск), Беспалова Елизавета (г. Липецк), Сапрыкин Михаил (г. Новосибирск), Ванькаев Александр (г. Астрахань), Метальников Никита (г. Орел), под руководством и при непосредственном участии автора этой статьи, а также с участием отсутствующего на фото студента физфака МГУ им. М.В.Ломоносова Логинова Артема. Всей команде автор выражает свою благодарность.

На основе нашего предыдущего опыта конструирования различных сканирующих зондовых микроскопов специальных применений [2] для спутникового микроскопа успешно решаются задачи автономного питания от аккумуляторов и солнечных батарей; температурной компенсации [7] для сохранения работоспособности микроскопа при циклическом изменении температуры от  $-40$  до  $+120^\circ\text{C}$  в течение почти каждого часа из-за нахождения спутника то в тени Земли при вращении вокруг нее, то на стороне Солнца; сохранения работоспособности после нагрузок величиной до 50 г, например во время отделения первой ступени ракетоносителя; длительного сохранения работоспособности в условиях радиации [8] и сильной засветки в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах [8, 9], а также быстрого поиска и анализа упавших из космоса

микро- и наночастиц пыли и метеоритов [3].

## ВЫВОДЫ

Работоспособность созданного спутника-микроскопа была проверена на прошедших воздействиях плазмой и сильной ультрафиолетовой засветкой образцах таких интересных, в том числе для космоса, материалов (рис.1), как графен [11–13], висмут, полимеры и керамика,





предоставленных различными научными центрами страны. Было получено большое количество экспериментальных материалов. По итогам начали формироваться публикации, а по конструкции спутника-микроскопа – патенты. Автор статьи надеется на жизнеспособность идеи и возникновение многих стартапов по созданию спутников-лабораторий самого различного назначения, с дальнейшим согласованием стандартов для их взаимодействий.

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Бинниг Г., Рорер Г. Сканирующая туннельная микроскопия – от рождения к юности. Успехи физических наук, т. 154, вып. 2, 1988, с. 261-2781.
2. Логинов Б.А., Логинов П.Б., Логинов В.Б., Логинов А.Б. Зондовая микроскопия: применения и рекомендации по разработке. НАНО-ИНДУСТРИЯ, 2019, т. 12, № 6 (92), с. 352-365, doi: 10.22184/1993-8578.2019.12.6.352.364.
3. 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.
4. Онлайн межрегиональная конференция по проектной деятельности, Образовательный центр "Сириус", <https://youtu.be/dvFB-цjobVQ> (22.10.2020 г., начало доклада: 6 ч 51 мин).
5. Онлайн-семинар для педагогов "STEM-регион", АНО "еНано", <https://www.youtube.com/watch?v=VeQuW037zZs> (15.12.2020 г., начало доклада: 3 ч 44 мин).
6. Логинов Б.А. Некоторые новые возможности зондовой микроскопии для анализа поверхности полупроводниковых структур. Труды XXV Международного симпозиума "Нанофизика и нанoeлектроника", 9-12 марта 2021 года, г. Нижний Новгород, т. 2, с. 739-740.
7. Логинов Б.А., Ельцов К.Н., Зайцев-Зотов С.В., Климов А.Н., Шевлюга В.М. Сканер для сверхвысоковакуумного низкотемпературного сканирующего туннельного микроскопа, Приборы и техника эксперимента. 2007. № 3. С. 148-149.
8. Суворов А.Л., Логинов Б.А., Макеев О.Н. Способ и устройство контроля и исследования поверхности внутри ядерных и термоядерных установок, Патент на изобретение RU 2169954 C1, 27.06.2001. Заявка № 2000119943/06 от 27.07.2000.
9. Kamneva S.A., Gureev V.V., Khimchenko L.N., Kuteev B.V., Klimov N.S., Podkovyrov V.L., Zhitluhin A.M., Loginov B.A. Observation of self-organized films structure in TOKAMAK T-10 and plasma gun QSPA-facility. В сборнике: 34th EPS Conference on Plasma Physics 2007, EPS 2007 - Europhysics Conference Abstracts 2007. С. 355-358.
10. Электронный источник: [www.miet.ru/news/137284](http://www.miet.ru/news/137284) (06.08.2021), <https://sochisir->

powered by the storage batteries recharged from solar cell batteries as required, if necessary.

We can even dream that in future it will be possible to automatically and much faster than on the Earth to transfer the studied objects and samples from one laboratory satellite having specific devices to another space laboratory to make research of other kind.

At that, the name of the Russian program "Duty for the Planet" intended to transfer dozens of university satellites is, possibly, suitable for satellite laboratory as well, because by shifting research into space we can

reduce a number of dangerous research plants on the Earth to make it more secure.

The cost of a satellite laboratory which depreciates completely, for instance, in 2-3 years, can be ten times less than the cost of experiments conducted in the Earth plants. Afterwards such a space laboratory will, naturally, lose its orbit from, say, 500 kilometres, and burn away in the dense atmosphere.

The solar wind, which represents a flow of ions with speeds up to 200 km / s and above, a wide range of strong infrared, visible and ultraviolet light, X-ray of

various rigidity, high-energy cosmic particles, as well as many micro and nano-dust particles, flying at cosmic velocities in different orbits, resulting from satellite accidents, in combination with natural-cosmic micro-meteorites [3] of a wide spectrum of velocities and other influences – such are real conditions of the space which are difficult to create on Earth and, consequently, to test materials intended for space application on the Earth.

Besides, even if the task of studying materials to understand the possibilities of their prospective work in space is not set, it



ius.ru/news/4646 (19.07.2021), <http://bol-vyz.tilda.ws/page20986921.html> (24.07.2021), [https://vk.com/wall-71991592\\_34784](https://vk.com/wall-71991592_34784) (видео от 12.07.2021).

11. Loginov A.B., Ismagilov R.R., Obratsov A.N., Bozhev I.V., Bokova-Sirosh S.N., Obratsova E.D., Loginov B.A. Few-layer graphene formation by carbon deposition on polycrystalline Ni surface. *Applied Surface Science*. 2019. Т. 494. С. 1030–1035.
12. Loginov A.B., Ismagilov R.R., Obratsov A.N., Bozhev I.V., Bokova-Sirosh S.N., Obratsova E.D., Loginov B.A. Formation of graphene on polycrystalline nickel. *Formation of Gra-*

phene on Polycrystalline Nickel. *Technical Physics*. 2019. Т. 64. No. 11. С. 1666–1672.

13. Логинов А.Б., Исмагилов Р.Р., Бокова-Сирош С.Н., Божьев И.В., Образцова Е.Д., Логинов Б.А., Образцов А.Н. Формирование наноструктурированных пленок MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>, MoO<sub>2</sub> и гетероструктур на их основе, *Журнал технической физики*, 2021, т. 91, № 10, с. 1509–1516.

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

can be interesting to investigate the behavior of materials, objects any processes or something else under the open space conditions and a range of the open space influences in the whole spectrum and in the necessary part of it, when excluding some definite influences. Due to the long-term lifetime of a satellite in space, it also opens a possibility of making long-term continuous experiments, which may be interesting, for example, for microbiology.

#### THE WORLD'S FIRST PROTOTYPE OF AN SPM SATELLITE

An embodiment of the world's first SPM prototype as a satellite laboratory was announced [4–6] at various online conferences starting from October, 2020.

The satellite microscope was made on the basis of an SMM-2000 series microscope in July 2021 at the site of the Sirius Education Center [10] by a team of ten people (Fig.1, from left to right): a resource specialist of Sirius in nanotechnology program "Great Challenges" Yuri Khripunov from the city of Oryol, Ilya Orazov, a student of MIET from Orel, gifted schoolchildren

Catherine Klyukina from Astrakhan, Andrey Lopatin from Biysk, Elizabeth Bepalova from Lipetsk, Mikhail Saprykin from Novosibirsk, Alexander Vankaev from Astrakhan and Nikita Metalnikov from Orel, under the guidance and with the direct participation of the author of this article, as well as with the participation of the MSU's student Artem Loginov (absent in the photo). The author expresses his gratitude to the team.

Based on our previous experience in the design of various scanning probe microscopes for special applications [2] for satellite microscope, the tasks of autonomous power supply and solar batteries are successfully solved; temperature compensation [7] to preserve operation of a microscope under a cyclical temperature change from –40 to +120 °C for almost every hour because of the alternate stay of the satellite in the shade of the Earth when it rotates around it, and on the side of the Sun; survival of performance after loads of up to 50 g, for example, during separation of the first stage of the rocket carrier; long preservation of performance under radiation conditions [8] and strong illumination

in infrared, visible and ultraviolet ranges [8, 9] as well as quick search and analysis of dust and meteorites fallen from cosmic space [3].

#### CONCLUSIONS

Performance of the developed satellite microscope was tested on the exposure of sample materials to plasma and strong ultraviolet illumination; these samples such as grapheme [11–13], bismuth, polymers and ceramics provided by various scientific centers of the country were of interest for use in space (Fig.1). A large number of experimental materials were obtained. Following the research results, there appeared various publications and patents on design of the satellite-microscope. The author of the article hopes that the idea is vital and that many startups will emerge to create satellite laboratories for quite various purposes, with further coordination of standards for their interaction. ■

#### Declaration of Competing Interest.

*The author declares that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.*



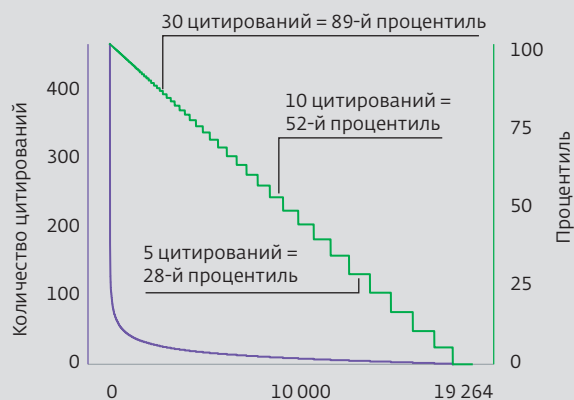
## ПРОЦЕНТИЛЬ – НОВАЯ МЕТРИКА В НАУКОМЕТРИИ

Наукометрия не стоит на месте. От плоских метрик, таких как индекс Хирша, Clarivate Web of Science™ разработала новый инструмент – Web of Science™ Author Impact Beamplots, с помощью которого можно составлять beamplot-диаграмму, несущую гораздо больше информации. Чтобы понять, какие возможности дает beamplot-диаграмма, разберемся, что лежит в основе ее построения.

Beamplot-диаграммы были предложены Л.Борнманном и В.Марксом из Общества Макса Планка в 2014 году на основе нормализации области цитирования. Они не занимают показатели исследователей с пунктирной публикационной активностью или работающих в областях, где общая публикационная активность имеет прерывистый характер. Нормализация происходит путем сравнения количества цитирований с аналогичными публикациями и измеряется в процентилях. Что же такое процентиль?

Процентиль в 90% и выше означает, что публикация входит в 10% наиболее цитируемых работ в данной области. Нормализация учитывает количество публикаций, опубликованных в том же году, публикации одного типа (тезисы, монографии, статьи), привлекаются публикации одной области исследований (предметной категории).

Рисунок показывает распределение числа цитирований 19 264 работ по органической химии, опубликованных в WOS в 2015 году. Фиолетовым цветом отмечено общее число цитирований, где слева находится максимум (462 цитирования), а справа – 0, в виде характерного "длинного хвоста" распределения. Красным цветом отмечен соответствующий процентиль, начиная с отметки 100 с левой стороны (т.е. когда 100% всех других статей будут иметь меньше цитирований),



Научные работы по органической химии 2015 г.

снижаясь до нуля. Три точки (30, 10 и 5 цитирований) отображают значения процентилей. Шаги ушли вправо, отражая дискретное снижение числа цитирований, последний шаг – работы, получившие одно цитирование. Количество цитирований и соответствующие процентильные значения выделены зеленым цветом.

По материалам отчета М.Шамшора, Д.А.Пендлбери, Институт научной информации (ISI)

Зарождая вопросы / Обнаруживая ответы



ORCA-Quest - первая квантитативная КМОП (qCMOS) камера с функцией количественного определения числа детектируемых фотонов. Это скачок в эволюции развития научных камер, который трансформирует изображение в понимание.

Начните Ваше приключение

**HAMAMATSU**  
PHOTON IS OUR BUSINESS

www.hamamatsu.com

Представительство Hamamatsu Photonics в России и СНГ  
Тел: +7 (495) 258-85-18, E-mail: info@hamamatsu.ru