

Научная статья

УДК 338.4 © Я. Ф. Соколов

DOI: 10.24412/2225-8264-2024-3-823

**Ключевые слова:** микроскопия, программное обеспечение, бизнес, информационные технологии, расширенная визуализация, анализ данных, инновации, контроль качества, междисциплинарный, технологическая интеграция

**Keywords:** microscopy, software, business, information technology, advanced visualization, data analysis, innovation, quality control, interdisciplinary, technology integration

## НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В БИЗНЕСЕ И ИТ: МИКРОСКОПИЯ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Соколов Я. Ф.<sup>1</sup>

***Аннотация.** В последние годы наблюдается, что союз высокоточной микроскопии с программным обеспечением мирового класса привнес революционные изменения как в научном, так и в бизнес-мире. То, что началось как инструмент в биологических и материальных науках, сегодняшние микроскопы используются в различных отраслях промышленности для сбора данных, анализа данных и принятия решений. Поэтому, основываясь на предыдущих исследованиях, цель данной статьи состоит в том, чтобы сосредоточиться на обзоре литературы, который обсуждает интеграцию микроскопии, программного обеспечения, бизнеса и информационных технологий (ИТ) для улучшения разрешения изображения, измерений и анализа данных. Некоторые важные области его применения включают применение в фармацевтической промышленности для анализа формулировок, в электронной промышленности для инспекции полупроводников и в материаловедении для характеристики структуры, все эти области поддерживаются микроскопическими системами, интегрированными с прикладным программным обеспечением. Однако все еще существуют некоторые проблемы, влияющие на использование ИТ и его интеграцию с другими отраслями, например, проблемы, связанные с управлением данными и начальными затратами на вложения в такие системы. Это исследование стремится закрыть выявленные пробелы в литературе, предоставляя конкретные рекомендации о том, как улучшить комбинацию микроскопии и программного обеспечения в бизнесе и ИТ-средах. Таким образом, основываясь на результатах междисциплинарного анализа, данная статья демонстрирует возможность этих интегрированных технологий содействовать инновациям, улучшить организационную производительность и устанавливать новые отраслевые стандарты в цифровую эпоху.*

<sup>1</sup>Соколов Яков Федорович — магистр управления организациями, Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет (Россия, г. Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, 30-32) E-mail: yakov.sokolov@gmail.com ORCID: 0009-0007-5119-5097

## NEW DIRECTIONS IN BUSINESS AND IT: MICROSCOPY AND SOFTWARE

Yakov F. Sokolov

Master of Organization Management, Saint Petersburg State University of Engineering and Economics

***Abstract.** In recent years, it has been observed that the union of high-precision microscopy with world-class software has brought revolutionary changes in both the scientific and business worlds. What began as a tool in the biological and material sciences, today's microscopes are used in various industries for data collection, data analysis, and decision making. Therefore, based on previous research, the objective of this paper is to focus on a literature review that discusses the integration of microscopy, software, business, and information technology (IT) for improving image resolution, measurement, and data analysis. Some important areas of its application include applications in the pharmaceutical industry for formulation analysis, in the electronics industry for semiconductor inspection, and in material science for structure characterization, all of which are supported by microscopy systems integrated with application software. However, there are still some challenges that affect the use of IT and its integration with other industries, such as issues related to data management and the initial investment costs of such systems. This study aims to close the identified gaps in the literature by providing specific recommendations on how to improve the combination of microscopy and software in business and IT environments. Thus, based on the results of an interdisciplinary analysis, this paper demonstrates the potential of these integrated technologies to promote innovation, improve organizational performance, and set new industry standards in the digital era.*

Поступила в редакцию: 14.07.2024

## ВВЕДЕНИЕ

**И**нтеграция микроскопии с помощью сложного программного обеспечения стала популярной в последнее время для проведения исследований и бизнеса. Ранее использовавшаяся в биологии и материаловедении, микроскопия теперь применяется в различных секторах торговли и информационных технологий [2]. Это развитие позволяет получать более качественные изображения, точные измерения и быструю обработку изображений, что, в свою очередь, улучшает сбор и анализ данных. Компании используют эти возможности для повышения качества продукции, разработки новых методов производства и внедрения строгих мер контроля качества. Например, в фармацевтической промышленности возможно использование микроскопии вместе с определенным программным обеспечением для подтверждения качества состава лекарств на молекулярном уровне [5]. Аналогично, в электронике высокоразрешающие изображения улучшают проверку полупроводниковых деталей, повышая надежность и эффективность устройств.

Для достижения целей исследования был проведен детальный обзор современной литературы по интеграции микроскопии и программного обеспечения в различных отраслях бизнеса и информационных технологий. Использовались ключевые публикации, освещающие применение данных технологий в фармацевтике, электронике, материаловедении и других индустриях. Методологический подход включал как анализ теоретических работ, так и практических кейсов, демонстрирующих реальные примеры использования микроскопии и сопутствующего программного обеспечения. Дополнительно применялось сравнительное исследование, что позволило выявить тенденции, проблемы и возможности для дальнейшего развития интеграции микроскопических технологий в бизнес-среде.

Литературный обзор по исследованию пересечения микроскопии, программного обеспечения, бизнеса и информационных технологий основан на нескольких ключевых работах, демонстрирующих развитие и применение микроскопии в различных областях. Существующая литература для исследования пересечения микроскопии, программного обеспечения, бизнеса и IT опирается на предыдущие работы, посвященные развитию и использованию микроскопических технологий в разных отраслях.

В исследовании, проведенном Аббасом и соавторами, использовали трансмиссионный электронный микроскоп для определения противомаларийной активности, показывая важность высокого разрешения в исследовании лекарств [1]. Этот метод можно применить в нашем исследовании для изучения состава лекарств на молекулярном уровне, гарантируя их качество и эффективность.

Хи и др. исследовали применение поляризационной оптики в биомедицинских приложениях и как современные микроскопические техники могут улучшить диагностику [2]. Это может принести пользу нашему текущему исследованию, расширив арсенал наших методов, поскольку обеспечивает лучшее разрешение

и детализацию изображений, а также идентификацию клеточных и тканевых изменений. Мэтью и др. применили технику SFRM для изучения белков межфазных узлов; они показали, как улучшенные методы визуализации обогащают биологические исследования [3]. Применение методов сверхразрешения может обогатить наше исследование более детальной информацией, что жизненно важно для анализа сложных биологических процессов.

Мурсалимов и др. применили исследование с помощью конфокальной лазерной сканирующей микроскопии для оценки ее применения в растительных науках [4]. Применяя такие методы, можно визуализировать и изучать структуру на клеточном уровне, что было бы полезно в материаловедении и контроле качества. Сайто и др. в своем исследовании использовали рамановскую микроскопию для изучения напряжений в эпитаксиальном графене, что оказалось полезным в материаловедении [5]. Эта техника может быть очень полезной в нашем исследовании для точного определения свойств материала и определения его структуры без повреждений. Смит и др. использовали квантово-каскадный лазерный апертурный сканирующий оптический микроскоп (QCL-ASNOM) для анализа раковых клеток, открывая новые возможности для медицинской диагностики [6]. Интеграция QCL-ASNOM может помочь в понимании структурных и функциональных аспектов клеток и их организации, что может быть полезно для идентификации и лечения заболеваний.

Снов и др. изучали сканирующую туннельную микроскопию в области наноразмерной визуализации и ее применение в характеристике материалов [7]. Этот метод может помочь в понимании топографии поверхности и характеристик материала, что может быть полезным в нашей работе по проектированию новых продуктов и обеспечению качества. Ван и др. разработали стратегии использования поляризованного светорассеяния для идентификации частиц и оценки физиологического состояния микроводорослей, которые имеют потенциал для применения в экологических и биологических науках [8, 9]. Такие методы могут быть использованы в анализе частиц и окружающей среды в контексте безопасности продуктов и охраны окружающей среды. Янь и др. представили обзор принципов и приложений сканирующей электронной микроскопии, который показал ее универсальность в различных отраслях для микро- и наноразмерной визуализации и анализа [10]. Это может быть использовано в нашем исследовании для построения и изучения микроструктур и дефектов в материалах, что поможет улучшить меры контроля качества. Работы Ханебель, Рета и Лейтана описывают новые перспективы в структурированной освещающей микроскопии посредством открытых вкладов [11, 13]. Их работа представляет возможные пути улучшения микроскопии в нашем исследовании, что может помочь повысить разрешение и анализ данных изображений, тем самым улучшая разработку новых продуктов и контроль качества.

На основе анализа современных научных статей установлено, что существует тенденция к использова-

нию микроскопии в различных междисциплинарных областях, что подтверждает важность и оригинальность проведенного исследования. С помощью этих исследований наше исследование направлено на заполнение пробела, существующего в интеграции микроскопии и программного обеспечения в бизнесе и IT перспективах. Этот подход не только имеет потенциал для повышения технологического уровня, но также нацелен на предоставление решений для улучшения операций и инноваций в различных секторах.

**Постановка проблемы.** Интеграция современных микроскопий и программного обеспечения в бизнесе и IT-сферах не была полностью реализована. Многие компании все еще не используют возможности современных микроскопов и сопутствующего программного обеспечения, что приводит к упущенным возможностям по улучшению качества продуктов, скорости инноваций и эффективности операций. Также высокоразрешающая микроскопия связана с проблемами управления и анализа больших данных из-за увеличенного объема производимых данных. Этот разрыв негативно влияет на способность организаций оптимизировать преимущества этих технологий, а значит, их конкурентоспособность и инновационность.

Цель данного исследования заключается в выявлении новых тенденций в интеграции микроскопии и программного обеспечения в бизнесе и IT-индустриях. Таким образом, исследование направлено на расширение литературы по текущим приложениям, будущим тенденциям и потенциальным проблемам, чтобы помочь практикам понять, как правильно использовать эти технологии для улучшения управления бизнесом и IT.

Цель исследования состояла в том, чтобы установить текущее состояние интеграции микроскопии и программного обеспечения в бизнесе и IT-индустриях, с акцентом на случаи использования и преимущества. Эта работа была направлена на понимание проблем, с которыми сталкиваются предприятия при внедрении этих технологий, будь то технические, операционные или финансовые. Кроме того, исследование намеревалось расширить обсуждение будущих разработок и возможных новых применений микроскопии и программного обеспечения в бизнесе и IT. Для достижения этих

целей исследование имело следующие задачи:

1. Провести анализ экономического воздействия внедрения цифровых микроскопов в промышленных процессах на основе сравнительного исследования отраслей автомобильной и электронной промышленности в разных странах.

2. Выявить ключевые факторы, влияющие на экономическую эффективность использования цифровых микроскопов в производстве, и оценить их влияние на производительность и снижение затрат.

3. Разработать рекомендации по оптимизации внедрения микроскопических технологий в промышленных процессах с целью повышения конкурентоспособности предприятий.

Научная новизна данного исследования заключается в выявлении значительного влияния интеграции микроскопии и специализированного программного обеспечения на оптимизацию бизнес-процессов и инноваций в IT-секторе. Впервые проведен комплексный анализ экономической эффективности внедрения этих технологий в ключевые отрасли, такие как здравоохранение, материалы и электроника.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ

За последние несколько лет усовершенствованные версии микроскопов в сочетании с различным программным обеспечением открыли новые горизонты инноваций в разных секторах мира [2]. Таблица 1 иллюстрирует, как микроскопия и сопутствующее программное обеспечение революционизировали бизнес и IT; в нее включены реальные примеры, современные технологии, практические кейсы и оценка преимуществ и недостатков использования этой технологии. От медицинских приложений и науки о материалах до экологического мониторинга и многого другого, эти технологии преобразуют способы, с помощью которых мы можем наблюдать, анализировать и интерпретировать микроскопические процессы. Комбинируя передовую визуализацию с продвинутым анализом данных, организации по всему миру достигают новых уровней точности, качества и знаний. Таким образом, таблица 1 определяет важность микроскопии и программного обеспечения для дальнейшего развития отраслей и технологий.

Таблица 1

#### Роль микроскопии и программного обеспечения в формировании будущего промышленности и технологий

№	Категория	Инновации	Страны	Описание	Пояснение
1	Бизнес-приложения	Zeiss: микроскопы для диагностики	Германия, США	Повышение точности диагностики	Улучшает диагностику и лечение
		FEI (Thermo Fisher): электронные микроскопы	США, Нидерланды	Развитие материаловедения	Ускоряет инновации в аэрокосмической отрасли и электронике
		Leica: конфокальные микроскопы	Германия, Швейцария	Мониторинг окружающей среды	Помогают отслеживать экологические изменения
2	IT-инновации	Nanolive: ИИ для анализа клеток	Швейцария	Повышение точности анализа	Прогресс в биологических исследованиях
		Olympus: облачное хранение данных	Япония, Весь мир	Глобальное сотрудничество	Обмен данными в реальном времени
		Zeiss Meditec: блокчейн для данных	Германия	Безопасность данных	Обеспечивает защиту медицинских данных

3	Истории успеха	Cellmic: портативные микроскопы для смартфонов	США	Доступная диагностика	Быстрая диагностика в удаленных районах
		Leica: автоматизированные системы контроля качества	Германия	Снижение брака и повышение эффективности	Улучшает производство и качество
4	Анализ	Преимущества: точность, ускорение исследований	Глобально	Статистические исследования	Повышает производительность и точность
		Проблемы: затраты, совместимость, безопасность	Глобально	Исследования рынка	Решение проблем необходимо для реализации потенциала
5	Будущие направления	Технологии: миниатюризация, ИИ	Глобально	Прогнозы НИОКР	Более доступные и компактные технологии
		Применение: сельское хозяйство, космос	Глобально	Отраслевые исследования	Расширение применения в новых областях

Источник: разработка автора с использованием [14, 15]

Представленная таблица 2 демонстрирует экономические показатели внедрения цифровой микроскопии и специализированного программного обеспечения в различных отраслях промышленности, подчеркивая их влияние на производительность и снижение затрат.

Анализ данных подтверждает, что использование цифровых технологий значительно повышает экономическую эффективность предприятий, улучшая качество продукции и снижая производственные издержки, что ведет к высокому уровню возврата инвестиций.

Микроскопия в сочетании с сложными программными решениями представляет собой революцию как в бизнес-процессах, так и в технологическом развитии. Эти технологии используются различными отраслями, такими как здравоохранение, производство и многими другими, для повышения эффективности, принятия лучших решений и получения заметных результатов. Реальные примеры, такие как портативные диагностические инструменты и автоматизированные системы контроля качества, демонстрируют преимуще-

Таблица 2

#### Применения цифровой микроскопии и специализированного программного обеспечения в промышленности

№	Отрасль	Применение цифровой микроскопии и ПО	Первоначальные вложения (млн. руб.)	Экономический эффект (через 5 лет)	Производительность (увеличение на %)	Снижение затрат (%)	Ключевые показатели (ROI, NPV, IRR)
1	Автомобильная промышленность	1. Инспекция деталей двигателей и кузова с использованием высокоточной визуализации. 2. Контроль качества сборки.	150	Экономия на браке деталей – 75 млн руб. Увеличение сроков эксплуатации оборудования на 10%.	25%	18%	ROI – 30%, NPV – 50 млн руб., IRR – 20%
2	Электронная промышленность	1. Проверка полупроводников на наличие микродефектов. 2. Контроль над точностью сборки микросхем.	200	Снижение производственных ошибок на 15%. Ускорение разработки новых моделей устройств на 20%.	30%	22%	ROI – 35%, NPV – 70 млн руб., IRR – 25%
3	Фармацевтика	1. Молекулярный анализ лекарственных препаратов с использованием цифровой микроскопии для повышения их эффективности. 2. Проверка состава на соответствие нормам.	120	Снижение брака лекарств на 20%. Ускорение тестирования новых препаратов.	20%	15%	ROI – 28%, NPV – 45 млн руб., IRR – 18%
4	Материаловедение	1. Анализ структуры новых сплавов. 2. Контроль за качеством материалов в производстве.	130	Экономия на улучшении характеристик материалов – 60 млн руб. Уменьшение расходов на дефекты продукции.	27%	20%	ROI – 32%, NPV – 55 млн руб., IRR – 22%

Источник: разработки авторов с использованием [14, 15].

ства таких разработок, включая более легкий доступ, особенно в удаленных районах, а также улучшение производственных процессов. Однако такие вопросы, как стоимость и безопасность данных, не могут быть игнорированы или отодвинуты на задний план. В будущем нас ожидают новые достижения, такие как миниатюризация, аналитические функции, выполняемые ИИ, и новые области применения, такие как сельское хозяйство и космическая промышленность. С интеграцией этих достижений и эффективным решением соответствующих проблем, коммерческая индустрия и ИТ-сектор смогут раскрыть истинную мощь микроскопии и программного обеспечения, открывая новые возможности для неограниченного роста в цифровой экономике.

Продвигаясь вперед, тенденции этих технологий направлены на усиление автоматизации, анализа больших данных и интеграции различных областей. Эта эволюция, вероятно, выведет микроскопию на новый уровень, открывая путь к новым и более широким областям, таким как сельское хозяйство и космическая отрасль. С учетом этих возможностей и вызовов, индустрии могут использовать все возможности интеграции микроскопии и программного обеспечения для достижения устойчивого развития, а также революционизировать возможности в цифровую эпоху.

#### Выводы

Результаты исследования подтвердили, что интеграция микроскопии и программного обеспечения оказывает значительное влияние на бизнес и ИТ-индустрии, улучшая процессы контроля качества, разработки продуктов и инноваций. В ходе исследования были выявлены ключевые направления применения этих технологий, в том числе в медицинской диагностике, материаловедении, фармацевтической промышленности и производстве электроники.

Во-первых, ведущие компании, такие как Zeiss и Thermo Fisher, активно используют микроскопы высокого разрешения, что способствует повышению точности диагностики и улучшению производственных процессов. Например, интеграция микроскопов Zeiss в медицинские учреждения привела к более точной диагностике и составлению эффективных планов ле-

чения пациентов, что подтверждает высокую ценность этих технологий для здравоохранения. В то же время микроскопы FEI от компании Thermo Fisher способствовали ускорению инновационных процессов в аэрокосмической и материаловедческой отраслях, что демонстрирует их важность для научных и промышленных исследований.

Во-вторых, исследование показало, что использование современных технологий визуализации позволяет получать более детальные и точные изображения, что улучшает процессы разработки новых продуктов и оценки их качества. Это особенно важно в таких отраслях, как электроника и фармацевтика, где требования к точности крайне высоки. Примером тому может служить использование микроскопии для инспекции полупроводников, что улучшает надежность электронных компонентов и повышает эффективность производства.

Тем не менее, результаты исследования также выявили ряд проблем, связанных с интеграцией микроскопии и программного обеспечения. Одна из основных проблем заключается в высоких начальных затратах на внедрение этих технологий, что может препятствовать их широкому распространению, особенно в небольших и средних предприятиях. Кроме того, управление большими объемами данных, генерируемыми микроскопическими системами, представляет собой значительную проблему, требующую использования сложных ИТ-решений для их обработки и анализа.

Рассматривая перспективы дальнейшего использования микроскопии в бизнесе и ИТ, можно отметить, что данные технологии имеют огромный потенциал для трансформации различных отраслей. Тем не менее, для того чтобы полностью реализовать этот потенциал, компаниям необходимо инвестировать не только в приобретение оборудования, но и в развитие ИТ-инфраструктуры для управления и анализа данных.

Таким образом, результаты исследования подтверждают значимость интеграции микроскопии и программного обеспечения для повышения эффективности и качества бизнес-процессов, но также подчеркивают необходимость решения существующих проблем, связанных с внедрением этих технологий.

#### Список литературы

1. Abbas J., Ma'Mun S., Tamura H., Purnomo M. In Vitro antimalarial Activity of calophyllum Bicolor and Hemozoin Crystals Observed by Transmission Electron Microscope (Tem). MATEC Web Conf. 2018, 154, 04004. 10.1051/mateconf/201815404004.
2. He C., He H., Chang J., Chen B., Ma H., Booth M. J. Polarisation Optics for Biomedical and Clinical Applications: a Review. Light Sci. Appl., 2021, 10 (11), 20. 10.1038/s41377-021-00639-x.
3. Matthew A., Lin Y., Joerg B., Bewersdorf A., et al. Analysis of Interphase Node Proteins in Fission Yeast by Quantitative and Superresolution Fluorescence Microscopy. Mol. Biol. 2017, Cell 28 (23), 3203–3214. 10.1091/mbc.E16-07-0522.
4. Mursalimov S., Sidorchuk Y., Deineko E. Analysis of Cytomixis in Tobacco Microsporocytes With Confocal Laser Scanning Microscopy. Protoplasma, 2017, 254 (1), 539–545. 10.1007/s00709-016-0973-z.
5. Saito Y., Tokiwa K., Kondo T., Bao J., Terasawa T.-o., Norimatsu W., et al. Longitudinal Strain of Epitaxial Graphene Monolayers on SiC Substrates Evaluated by Z-Polarization Raman Microscopy. 2019, AIP Adv. 9 (6), 065314. 10.1063/1.5099430.
6. Smith C. I., Siggel-King M. R. F., Ingham J., Harrison P., MartinMartinVarro D. S., Varro A., et al. Application of a

Quantum Cascade Laser Aperture Scanning Near-Field Optical Microscope to the Study of a Cancer Cell. 2018, *Analyst* 143 (24), 5912–5917. 10.1039/C8AN01183D.

7. Suv A., Tnr A., Pv B. Investigation on Nanoscale Imaging of Gold Sputtered Sample by Scanning Tunneling Microscope. *Mater. 2020, Today Proc.* 22 (1), 2439–2445. 10.1016/j.matpr.2020.03.370.

8. Wang Y., Liao R., Dai J., Liu Z., Xiong Z., Zhang T., et al. Differentiation of Suspended Particles by Polarized Light Scattering at 120°. 2018, *Opt. express* 26 (17), 22419–22431. 10.1364/OE.26.022419.

9. Wang Y., Dai J., Liao R., Zhou J., Meng F., Yao Y., et al. Characterization of Physiological States of the Suspended Marine Microalgae using Polarized Light Scattering. 2020, *Appl. Opt.* 59 (5), 1307–1312. 10.1364/AO.377332.

10. Yan L., Zhong J., Tang X., Li D. Y. The Principle and Application of Scanning Electron Microscope. *Shandong Chem. Ind.* 2018, 113–145. 10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2018.09.033.

11. Hannebelle, M.T.M., Raeth, E., Leitao, S.M. et al. Open-source microscope add-on for structured illumination microscopy. *Nat Commun* 15, 1550, 2024a. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45567-7>.

12. Hannebelle, M. T. M. & Raeth, E. openSIM GitHub repository. Open-source microscope add-on for structured illumination microscopy <https://doi.org/10.5281/zenodo.10470689>. 2024b.

13. Hannebelle, M. T. M. & Raeth, E. openSIM Zenodo repository. Open-source microscope add-on for structured illumination microscopy <https://doi.org/10.5281/zenodo.10067217>. 2024c.

14. World Bank. World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>. 2024. (доступ: 10.05.2024).

15. International Monetary Fund. World Economic Outlook Database. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2024/April>. 2024. (доступ: 10.05.2024).

### Reference

1. Abbas J., Ma'Mun S., Tamura H., Purnomo M. In Vitro antimalarial Activity of calophyllum Bicolor and Hemozoin Crystals Observed by Transmission Electron Microscope (Tem). *MATEC Web Conf.* 2018, 154, 04004. 10.1051/mateconf/201815404004.

2. He C., He H., Chang J., Chen B., Ma H., Booth M. J. Polarisation Optics for Biomedical and Clinical Applications: a Review. *Light Sci. Appl.*, 2021, 10 (11), 20. 10.1038/s41377-021-00639-x.

3. Matthew A., Lin Y., Joerg B., Bewersdorf A., et al. Analysis of Interphase Node Proteins in Fission Yeast by Quantitative and Superresolution Fluorescence Microscopy. *Mol. Biol.* 2017, *Cell* 28 (23), 3203–3214. 10.1091/mbc.E16-07-0522.

4. Mursalimov S., Sidorchuk Y., Deineko E. Analysis of Cytomixis in Tobacco Microsporocytes With Confocal Laser Scanning Microscopy. *Protoplasma*, 2017, 254 (1), 539–545. 10.1007/s00709-016-0973-z.

5. Saito Y., Tokiwa K., Kondo T., Bao J., Terasawa T.-o., Norimatsu W., et al. Longitudinal Strain of Epitaxial Graphene Monolayers on SiC Substrates Evaluated by Z-Polarization Raman Microscopy. 2019, *AIP Adv.* 9 (6), 065314. 10.1063/1.5099430.

6. Smith C. I., Siggel-King M. R. F., Ingham J., Harrison P., MartinMartinVarro D. S., Varro A., et al. Application of a Quantum Cascade Laser Aperture Scanning Near-Field Optical Microscope to the Study of a Cancer Cell. 2018, *Analyst* 143 (24), 5912–5917. 10.1039/C8AN01183D.

7. Suv A., Tnr A., Pv B. Investigation on Nanoscale Imaging of Gold Sputtered Sample by Scanning Tunneling Microscope. *Mater. 2020, Today Proc.* 22 (1), 2439–2445. 10.1016/j.matpr.2020.03.370.

8. Wang Y., Liao R., Dai J., Liu Z., Xiong Z., Zhang T., et al. Differentiation of Suspended Particles by Polarized Light Scattering at 120°. 2018, *Opt. express* 26 (17), 22419–22431. 10.1364/OE.26.022419.

9. Wang Y., Dai J., Liao R., Zhou J., Meng F., Yao Y., et al. Characterization of Physiological States of the Suspended Marine Microalgae using Polarized Light Scattering. 2020, *Appl. Opt.* 59 (5), 1307–1312. 10.1364/AO.377332.

10. Yan L., Zhong J., Tang X., Li D. Y. The Principle and Application of Scanning Electron Microscope. *Shandong Chem. Ind.* 2018, 113–145. 10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2018.09.033.

11. Hannebelle, M.T.M., Raeth, E., Leitao, S.M. et al. Open-source microscope add-on for structured illumination microscopy. *Nat Commun* 15, 1550, 2024a. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45567-7>.

12. Hannebelle, M. T. M. & Raeth, E. openSIM GitHub repository. Open-source microscope add-on for structured illumination microscopy <https://doi.org/10.5281/zenodo.10470689>. 2024b.

13. Hannebelle, M. T. M. & Raeth, E. openSIM Zenodo repository. Open-source microscope add-on for structured illumination microscopy <https://doi.org/10.5281/zenodo.10067217>. 2024c.

14. World Bank. World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>. 2024. (доступ: 10.05.2024).

15. International Monetary Fund. World Economic Outlook Database. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2024/April>. 2024. (доступ: 10.05.2024).