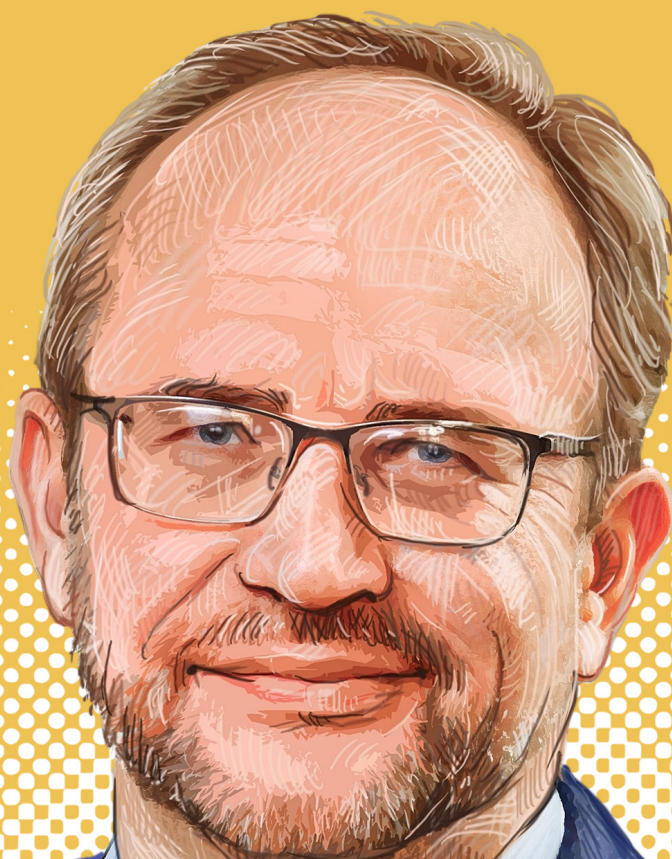


Дайджест

новостей Российского научного фонда

**Физик Сергей Кудряшов
о новом способе
маркировки алмазов**

читайте
40
стр.



В номере

10

Открыт новый метод получения электроэнергии

22

Найден способ улучшения характеристик композитных материалов

26

Грантополучатели РНФ выступили на Всероссийском фестивале науки

30

Ведутся успешные эксперименты по созданию органической электроники



Российский
научный
фонд

#4

октябрь–декабрь

Дайджест

новостей Российского научного фонда

2022

СОДЕРЖАНИЕ

ОТКРЫТИЯ



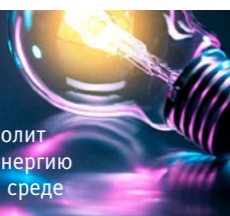
6
Математическая модель откроет новый подход к лечению ВИЧ



8
Стальная текстурированная подложка поможет удешевить солнечные батареи

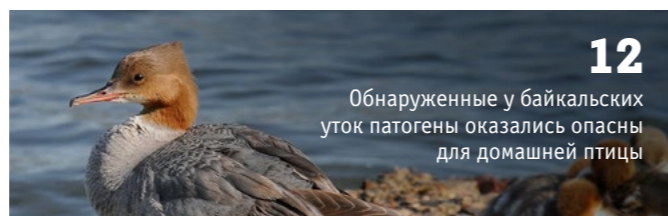
10

Новый метод позволит получать электроэнергию в бескислородной среде



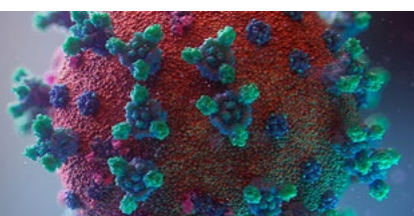
12

Обнаруженные у байкальских уток патогены оказались опасны для домашней птицы



14

COVID-19 негативно повлиял на репродуктивное здоровье мужчин



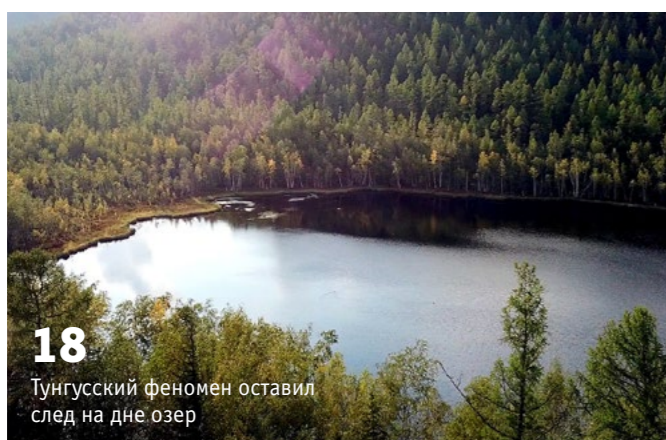
16

Ядерные катастрофы оставили след на дне суперсоленого озера в Крыму



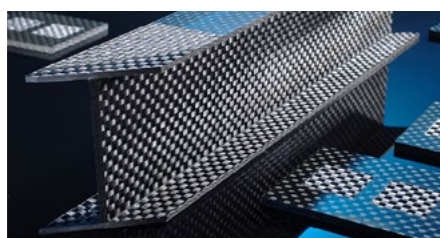
18

Тунгусский феномен оставил след на дне озер



22

Слабая связь между матрицей и волокном увеличила прочность композитного материала



20

Кости в сибирской пещере оказались останками первой известной семьи неандертальцев



СОБЫТИЯ

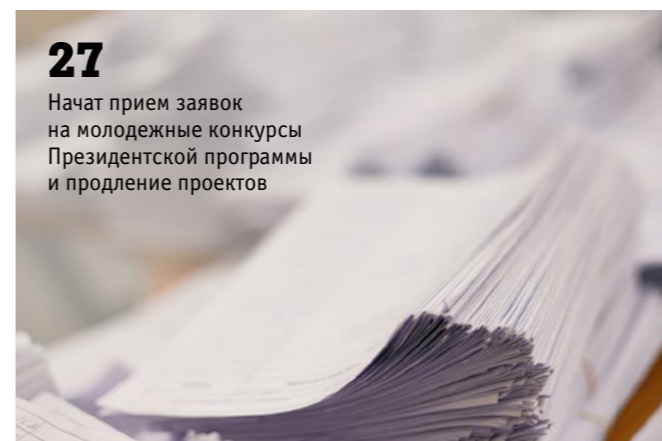


26

Грантополучатели РНФ выступили на Всероссийском фестивале науки NAUKA 0+

27

Начат прием заявок на молодежные конкурсы Президентской программы и продление проектов



27

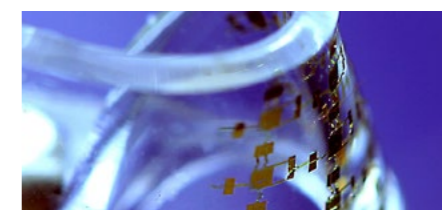
Подведены итоги трех конкурсов Фонда



ИНТЕРВЬЮ

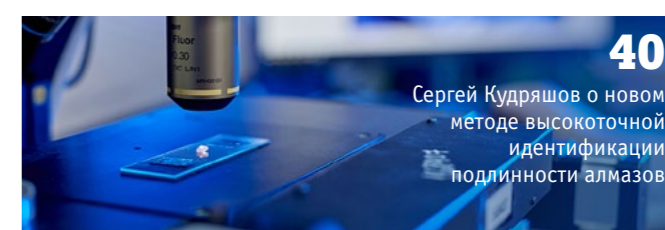
30

Сергей Пономаренко о возможностях и перспективах органической электроники



40

Сергей Кудряшов о новом методе высокоточной идентификации подлинности алмазов



52

Хранители культурного наследия



СПЕЦПРОЕКТ



**ОТ
КРЫ
ТИЯ**

Источник: Известия



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТКРОЕТ НОВЫЙ ПОДХОД К ЛЕЧЕНИЮ ВИЧ

НАЗВАНИЕ ПРОЕКТА

Математические и численные методы многомасштабного и гибридного моделирования иммунных процессов



Руководитель проекта

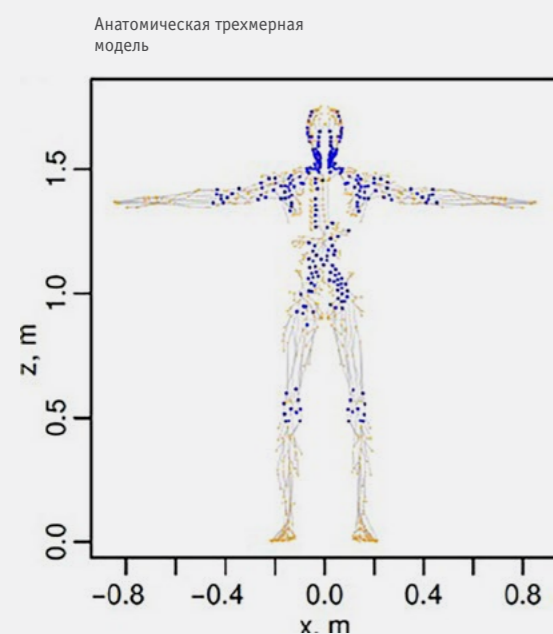
Геннадий Алексеевич Бочаров

доктор физико-математических наук

Институт вычислительной математики имени Г. И. Марчука РАН

Москва

2021–2022



◀ Моделирование и анализ лимфатической системы человека с помощью теории графов. Источник: Геннадий Бочаров



▲ Команда ученых.
Источник: Геннадий Бочаров

В течение жизни люди сталкиваются с множеством вирусов и обычно успешно их побеждают, однако не все патогены удается одолеть, в том числе и ВИЧ. Полностью избавиться от него нельзя, поскольку вирус заражает иммунные клетки, которые и должны с ним бороться. А удалить патоген, не убивая эти самые клетки, пока не удается.

Чтобы решить проблему, ученые предложили альтернативный подход — использовать естественные механизмы, когда иммунная система спокойно сосуществует с возбудителем при пониженном уровне вирусной нагрузки. Для достижения такого состояния нужно активировать сразу два звена иммунитета — клеточный и антительный.

В РЕЗУЛЬТАТЕ ОРГАНИЗМ СМОЖЕТ САМОСТОЯТЕЛЬНО СНИЗИТЬ УРОВЕНЬ ВИРУСНОЙ НАГРУЗКИ, СУЩЕСТВЕННО ОСЛАБИВ ИНФЕКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС.

Ученые описали, как добиться такой ситуации, основываясь на математическом анализе модельной инфекции лимфоцитарного хориоменингита у мышей. Взаимодействие этого вируса с иммунной системой во многом схоже с тем, как проявляет себя ВИЧ: на поздних стадиях заболевания происходит быстрое истощение лимфоцитов Т-киллеров, уничтожающих пораженные клетки. Такое состояние относительно стабильно, но опасно: при столкновении с инфекцией организм может не справиться с ней.

Чтобы снизить риск, исследователи предложили восстанавливать Т-клетки с помощью антител к белку PD-L1, подавляющему иммунные клетки, и одновременно стимулировать производство антител к ВИЧ. Такой подход будет эффективен при наличии даже 5% ВИЧ-специфических Т-киллеров. Тогда вирус останется в организме, но вред заметно уменьшится. Научная статья опубликована в журнале *Frontiers in Immunology*.



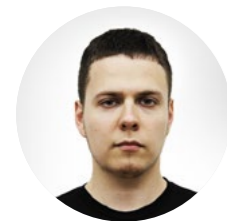
Источник: Поиск

Президентская программа исследовательских проектов

СТАЛЬНАЯ ТЕКСТУРИРОВАННАЯ ПОДЛОЖКА ПОМОЖЕТ УДЕШЕВИТЬ СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ

НАЗВАНИЕ ПРОЕКТА

Разработка тонкопленочных солнечных батарей на основе гетероперехода Si / Mg₂Si



Руководитель проекта

Александр Владимирович Шевлягин

кандидат физико-математических наук



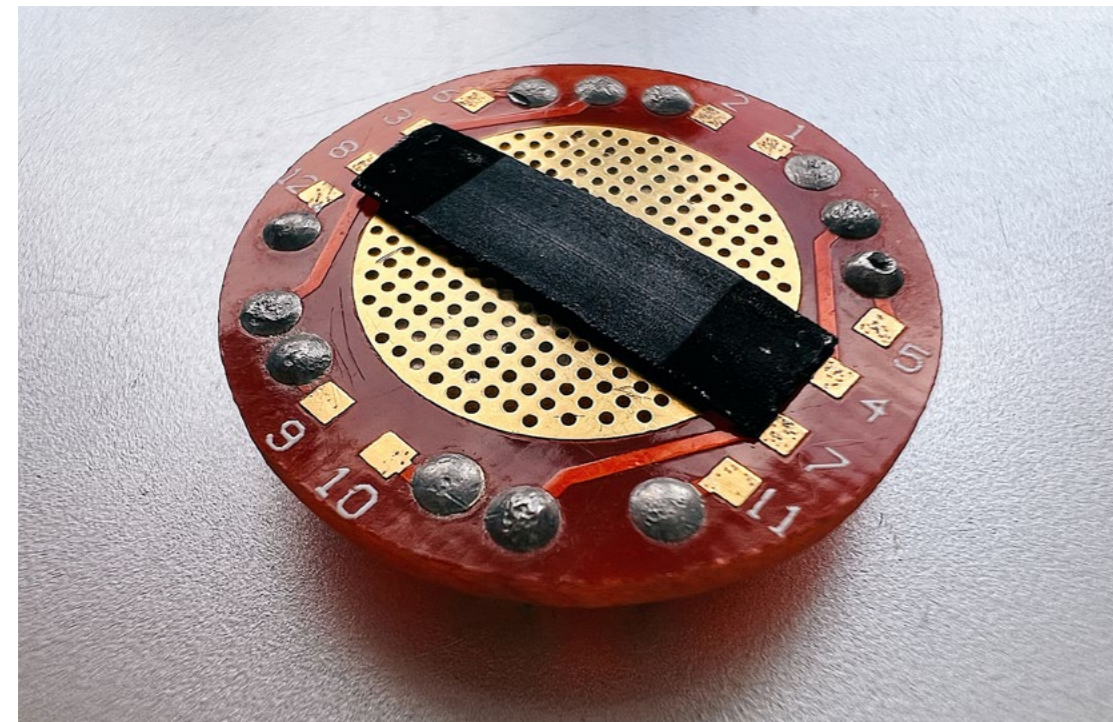
Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН



Владивосток



июль 2020 – июнь 2022



Прототип солнечного элемента перед испытаниями фотоэлектрической эффективности. Источник: пресс-служба ИАПУ ДВО РАН

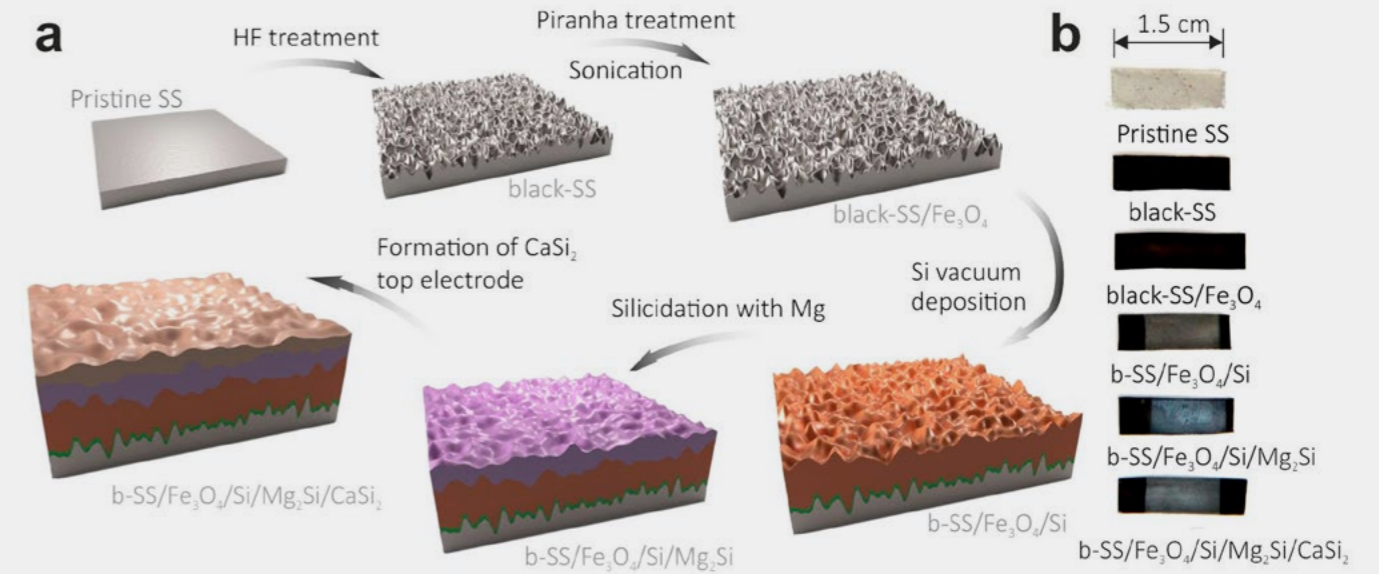


Схема нанесения светопоглощающих слоев на стальную подложку. Источник: Shevlyagin et al. / Materials, 2022

Солнечные батареи становятся все более популярными, поскольку они позволяют получать электроэнергию без вреда для окружающей среды. Обычно эти устройства состоят из керамической, стеклянной или полимерной подложки, на которую нанесены светопоглощающие слои кремния и других полупроводниковых материалов. Однако эта технология довольно дорога, поэтому в качестве альтернативы для подложки пытаются использовать сталь. Но у стали есть недостаток: из-за шероховатой поверхности и больших токов утечки подложки из нее дают низкую эффективность.

ФИЗИКИ ПРЕДЛОЖИЛИ НОВЫЙ МЕТОД НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ СЛОЕВ КРЕМНИЯ И СИЛИЦИДА МАГНИЯ НА ТЕКСТУРИРОВАННУЮ СТАЛЬНУЮ ПОДЛОЖКУ.

Сначала ученые придали образцам стали определенный рельеф с помощью фтороводородной кислоты, чтобы получить антиотражающую поверхность и защитную пленку из оксида железа. Затем в вакуумной камере нанесли светопоглощающие слои кремния и силицида магния, а также верхний проводящий слой дисилицида кальция. Благодаря этому удалось получить солнечный элемент с эффективностью преобразования света в ток около 7,5%. Этот результат сопоставим с показателями солнечных батарей на подложках из других материалов.

Стоит отметить, что в конструкции использовались доступные и дешевые материалы — сталь, кремний, магний и кальций, поэтому разработка экономически выгоднее существующих аналогов. В будущем исследователи намерены оптимизировать фотоэлементы, подобрав оптимальную толщину входящих в них слоев и состав примесей. Статья с описанием результатов вышла в журнале *Materials*.

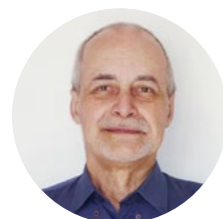
Источник: Russia Today



НОВЫЙ МЕТОД ПОЗВОЛИТ ПОЛУЧАТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ В БЕСКИСЛОРОДНОЙ СРЕДЕ

НАЗВАНИЕ ПРОЕКТА

Редокс-медиаторное восстановление хлоратов как катодный процесс для новых химических источников тока



Руководитель проекта

Михаил Алексеевич
Воротынцев

доктор
физико-математических наук



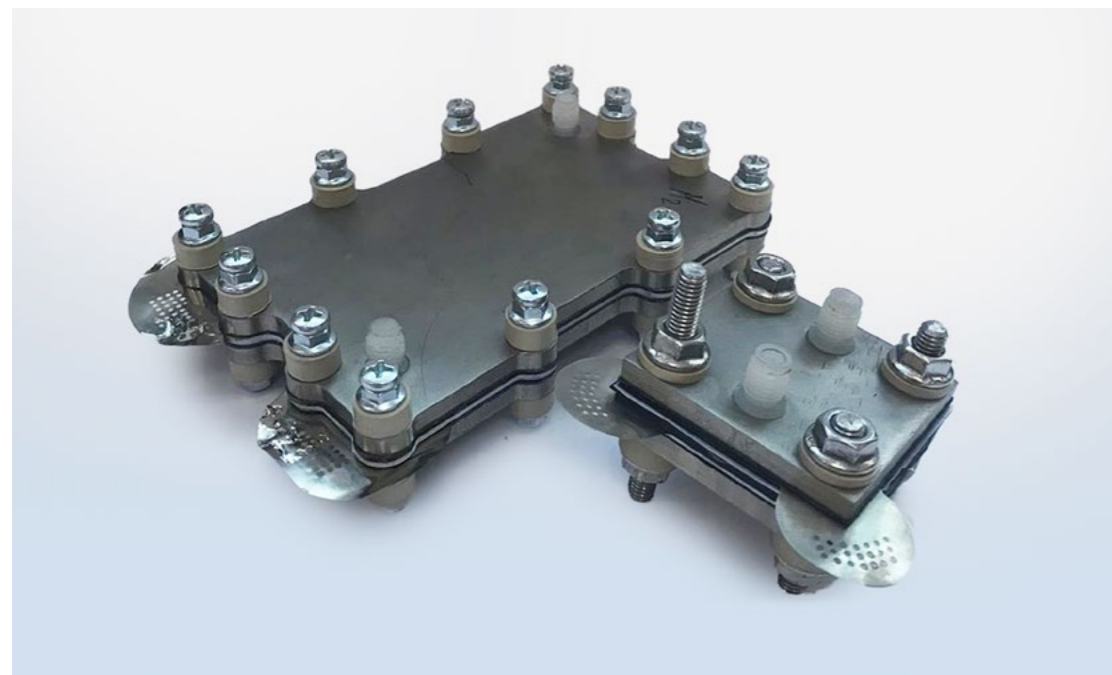
Институт физической химии и электрохимии
имени А. Н. Фрумкина РАН



Москва



2020–2022



Разрядные блоки водородно-хлоратной батареи мощностями 2 Вт и 20 Вт (размеры: 2 2 и 9 4,5 см²).
Источник: Дмитрий Конев



Результаты исследования помогут в разработке источников энергии в бескислородной среде, например в космосе

Химические процессы, используемые для получения электроэнергии, идут с передачей электронов от одних компонентов реакции другим. Частицы, отдающие электроны, называются восстановителями, а принимающие — окислителями. В качестве последних часто выступает кислород, который легко получить прямо из атмосферы. Однако в условиях, когда его количество ограничено, например в космосе, подводных пространствах и глубоких шахтах, использование кислорода невозможно.

В НОВОМ ИССЛЕДОВАНИИ УЧЕНЫЕ ДОКАЗАЛИ, ЧТО ХЛОРАТ-АНИОНЫ (СЛО₃⁻) В СОЧЕТАНИИ С МОЛЕКУЛЯРНЫМ ВОДОРОДОМ СПОСОБНЫ ГЕНЕРИРОВАТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И В БЕЗВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ, ОБРАЗУЯ ПРИ ЭТОМ ХЛОРИД-АНИОН (СL⁻).

Для этого они провели реакцию в электрохимической ячейке, состоящей из двух электродов. Через один электрод они пропускали газообразный водород, а через другой — хлоратный электролит. Главная сложность заключалась в том, чтобы заставить соединения хлора вступить в реакцию восстановления, так как хлорат без катализаторов малоактивен. Однако исследователи нашли решение этой проблемы, пропустив через ячейку небольшой заряд. По мере прохождения тока в растворе накапливались другие кислородсодержащие соединения хлора, и ток, генерируемый теперь уже самой системой, нарастал.

Эффективность процесса преобразования химической энергии в электрическую составила более 40%. Полученные данные помогут в разработке источников питания космических аппаратов, подводных лодок и средств индивидуального перемещения под водой, то есть в условиях недостатка кислорода. Работа исследователей опубликована в журнале *Molecules*.

Источник: ТАСС



ОБНАРУЖЕННЫЕ У БАЙКАЛЬСКИХ УТОК ПАТОГЕНЫ ОКАЗАЛИСЬ ОПАСНЫ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПТИЦЫ

НАЗВАНИЕ ПРОЕКТА

Распространение РНК-вирусов птиц в Северной Азии и Азиатско-Тихоокеанском регионе: генетическое разнообразие, патогенный потенциал и прогнозирование влияния на птицеводство



Руководитель проекта

Кирилл Александрович Шаршов

кандидат биологических наук



ФИЦ фундаментальной и трансляционной медицины



Новосибирск



2020–2022



Птичий грипп — серьезное заболевание, которое передается человеку при контакте с больной птицей или ее пометом. Обычно вирус заражает виды, живущие вблизи водоемов — уток и чаек, которые, мигрируя, разносят болезнь. Уровень смертности от заболевания составляет 50%. Чтобы не допустить заражения людей, ученые следят за тем, какие вирусы встречаются в местах массовых скоплений перелетных птиц.

Биологи исследовали вирусы птиц на озере Байкал — важной точке на маршруте перелетов водоплавающих птиц и одновременно популярном месте отдыха у туристов. Для изучения патогенов авторы взяли мазки из клоаки у 144 птиц. Виды возбудителей определяли по последовательности нуклеотидов, из которых состоит РНК, — молекула, несущая наследственную информацию вируса птичьего гриппа. Выяснилось, что патогены заразили около 6% птиц, причем исключительно уток. Обнаруженные вирусы относились к возбудителям птичьего гриппа и к группе парамиксовирусов, которые заражают только птиц.

ИССЛЕДОВАТЕЛЯМ УДАЛОСЬ ВЫЯВИТЬ ЧЕТЫРЕ ПОДТИПА ВИРУСОВ ПТИЧЬЕГО ГРИППА (H3N8, H6N8, H6N3, H12N5) И ДВА РАЗНЫХ ПАРАМИКСОВИРУСА.

Подтип птичьего гриппа H3N8 вызывает заболевание собак и лошадей, а H12N5 встречается в природе редко и только у птиц. Оба варианта вируса не представляют угрозы для человека. Найденные парамиксовирусы вызывают легкие заболевания диких птиц, однако домашние переносят болезнь тяжело, что наносит большой ущерб для птицеводства. Наблюдения помогут предупредить распространение заболеваний с перелетными птицами. Исследование опубликовано в журнале *EcoHealth*.



Источник: Поиск

COVID-19 НЕГАТИВНО ПОВЛИЯЛ НА РЕПРОДУКТИВНОЕ ЗДОРОВЬЕ МУЖЧИН

НАЗВАНИЕ ПРОЕКТА

Влияние коронавирусной инфекции COVID-19 на репродуктивное здоровье мужчин



Руководитель проекта

Евгения Михайловна Комарова

кандидат биологических наук



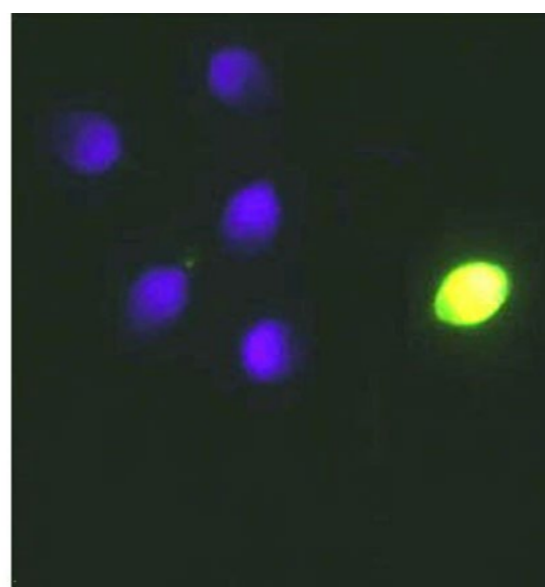
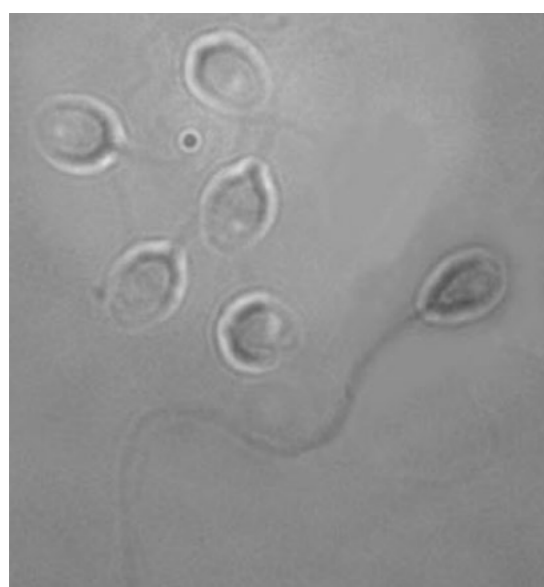
НИИ акушерства, гинекологии и репродуктологии имени Д. О. Отта



Санкт-Петербург



2022–2023



◀ Сперматозоиды из эякулята человека: неокрашенный препарат и флуоресцентное окрашивание (зеленый цвет свидетельствует о повреждении ДНК).
Источник: Евгения Комарова



Исследователи определили, какие показатели изменяются в сперме мужчин, перенесших COVID-19. В самой семенной жидкости оказалось довольно много лейкоцитов, что свидетельствует о воспалительном процессе. В эксперименте приняли участие семнадцать пациентов, перенесших заболевание примерно пять месяцев назад в легкой форме без госпитализации и назначения лекарств, а также двадцать два здоровых добровольца.

Ученые проанализировали целостность ДНК в сперматозоидах с помощью флуоресцентного красителя, соединяющегося с разрывами в цепи ДНК. Существенных отличий не обнаружилось: около половины образцов как в опытной, так и в контрольной группе содержали большую долю поврежденной ДНК.

У МУЖЧИН, ПЕРЕБОЛЕВШИХ КОРОНАВИРУСОМ, НАБЛЮДАЛОСЬ БОЛЬШЕЕ КОЛИЧЕСТВО НЕЗРЕЛЫХ СПЕРМАТОЗОИДОВ И ЛЕЙКОЦИТОВ. КОГДА КЛЕТОК ЭТИХ ДВУХ ТИПОВ СТАНОВИТСЯ СЛИШКОМ МНОГО, ОНИ ЧАСТО ВЫЗЫВАЮТ РАЗВИТИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА.

Этот процесс связан с образованием активных форм кислорода, которые могут нарушать структуру других молекул, включая ДНК, и вредить другим клеткам. Наличие окислительного стресса в сперме переболевших мужчин подтвердил и высокий уровень окисленного дезоксигуанозина — молекулы, которая образуется при повреждении ДНК активными формами кислорода. В будущем эти данные помогут понять, как COVID-19 влияет на репродуктивную функцию мужчин и как долго организм будет восстанавливать нарушенные защитные механизмы. Статья вышла в *International Journal of Molecular Sciences*.

Источник: РИА Новости



ЯДЕРНЫЕ КАТАСТРОФЫ ОСТАВИЛИ СЛЕД НА ДНЕ СУПЕРСОЛЕННОГО ОЗЕРА В КРЫМУ

НАЗВАНИЕ ПРОЕКТА

Разработка биологических и геохимических основ развития аквакультуры в гиперсолёных озерах и лагунах Крыма



Руководитель проекта

Елена Валерьевна
Ануфриева

доктор биологических наук



Институт биологии южных морей
имени А. О. Ковалевского РАН



Севастополь



2021–2022



Акташское солёное озеро в Крыму. Источник: Елена Ануфриева



Проведение лабораторных исследований

Оседание взвешенных веществ — это естественный способ очищения воды от разнообразных загрязнителей. Радиоактивные загрязнители являются одними из самых опасных. Они возникли в середине XX века: бомбардировки Хиросимы и Нагасаки в 1945 году, испытания ядерного оружия в открытых средах, Кыштымская катастрофа, аварии на Чернобыльской и Фукусимской АЭС. В результате в окружающую среду попал стронций-90 — долгоживущий радионуклид антропогенного происхождения.

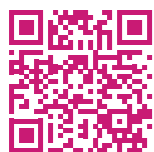
УЧЕНЫЕ ОЦЕНИЛИ СОДЕРЖАНИЕ СТРОНЦИЯ-90 В ДОННЫХ ОСАДКАХ ГИПЕРСОЛЕННОГО АКТАШСКОГО ОЗЕРА, РАСПОЛОЖЕННОГО НА СЕВЕРЕ КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА. СЕГОДНЯ ЕГО НЕ ИСПОЛЬЗУЮТ В ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ОДНАКО ОЗЕРО ПОТЕНЦИАЛЬНО ПЕРСПЕКТИВНО ДЛЯ РАЗВИТИЯ АКВАКУЛЬТУРЫ КРЫМА.

Авторы отобрали полуметровые цилиндрические образцы со дна озера, а затем послойно анализировали содержание в них стронция-90, а также стабильного изотопа стронция-88, который встречается в природе и используется в металлургической и химической промышленности.

С 1967 по 1986 год концентрация стронция-88 была в три раза ниже, чем после катастрофы на ЧАЭС. С 1990 года этот показатель рос из-за поступления радиационных элементов с днепровской водой, однако радиационное излучение на дне Акташа всегда оставалось ниже предельно допустимых норм.

Стабильный стронций используется в радиоэлектронной промышленности, металлургии, а после чернобыльской аварии многие конструкции, где он применялся, были разрушены. Это сделало возможным его миграцию в растворенном состоянии: водный путь стал основным источником поступления в озеро Акташское. Проведенное исследование поможет разработать меры по восстановлению водоема. Статья опубликована в журнале *Water*.

Источник: Наука в Сибири



ТУНГУССКИЙ ФЕНОМЕН ОСТАВИЛ СЛЕД НА ДНЕ ОЗЕР

НАЗВАНИЕ ПРОЕКТА

Реконструкция динамики природных пожаров на территории Средней Сибири в позднем голоцене по озерным отложениям



Руководитель проекта

**Андрей Георгиевич
Дегерменджи**

доктор
физико-математических наук



Красноярский научный центр Сибирского
отделения РАН



Красноярск



2022–2023



Разбор керна донных отложений из озера Заповедное. Источник: Анастасия Тамаровская, служба научных коммуникаций ФИЦ КНЦ СО РАН



Экспедиция на озера Тунгусского заповедника, Красноярский край. Источник: Анастасия Тамаровская, служба научных коммуникаций ФИЦ КНЦ СО РАН

Таежная зона Средней Сибири — регион с большим количеством лесных пожаров, вызванных климатом, а не только деятельностью человека. Чтобы составить корректный прогноз, оценить вклад климатических и антропогенных факторов в современную пожарную обстановку, важно знать о том, как часто пожары происходили в прошлом. Лучшее хранилище такой информации — донные отложения озер, в которых могут долго сохраняться сгоревшие частицы деревьев.

Геологи изучили донные отложения в озерах Чеко и Заповедное, расположенных вблизи эпицентра Тунгусского феномена, чтобы оценить интенсивность пожаров в прошлом и сравнить ее с современной.

АНАЛИЗ ПОКАЗАЛ, ЧТО В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОЗРАСТОМ ОКОЛО 1,5 ТЫСЯЧИ ЛЕТ И В СОВРЕМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ФОНОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПРИМЕРНО ОДИНАКОВОЕ. ЭТО ЗНАЧИТ, ЧТО РЕЗКОГО УВЕЛИЧЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ НЕТ.

В озерах на глубине отложений примерно 50 см ученые обнаружили повышенное количество частиц древесного угля и элементов выветривания горных пород: титана, рубидия, иттрия, циркония, калия, ниобия. Возможно, это следы сильного пожара и массового вывала деревьев, прошедших в начале XX века. Исследователи связали его с феноменом так называемого Тунгусского метеорита, поскольку именно здесь в 1908 году произошла Тунгусская катастрофа — сильный взрыв неизвестной природы, повлекший за собой обширный повал деревьев и лесной пожар на площади около 700 км².

Эта работа стала первым палеолимнологическим исследованием истории пожаров Восточной Сибири. Результаты исследования опубликованы в журнале *Contemporary Problems of Ecology*.

Источник: Planet Today



КОСТИ В СИБИРСКОЙ ПЕЩЕРЕ ОКАЗАЛИСЬ ОСТАНКАМИ ПЕРВОЙ ИЗВЕСТНОЙ СЕМЬИ НЕАНДЕРТАЛЬЦЕВ

НАЗВАНИЕ ПРОЕКТА

Поздние неандертальцы Алтая: характеристики популяции,
закономерности освоения территорий



Руководитель проекта

Ксения Анатольевна
Колобова

доктор исторических наук



Институт археологии и этнографии
Сибирского отделения РАН



Новосибирск



2021–2023



◀ Зуб неандертальца.
Источник: Институт
археологии
и этнографии СО РАН



▲ Чагырская пещера
на Алтае. Источник:
Институт археологии
и этнографии СО РАН

Международная команда ученых исследовала кости неандертальцев из алтайских пещер Чагырская и Окладникова. Антропологи определили последовательность ДНК нескольких особей самой восточной неандертальской популяции в Сибири. Данные помогут получить представление об организации древнего сообщества.

Удалось установить, что 17 изученных костей принадлежали семи неандертальцам мужского пола и шести — женского. В группе было восемь взрослых, пятеро детей и подростков. В митохондриальной ДНК этих людей было обнаружено несколько гетероплазмий — особых генетических вариантов, сохраняющихся в течение небольшого числа поколений, которые были общими между ними.

В Чагырской пещере среди исследованных костей обнаружены останки отца-неандертальца и его дочери-подростка. Ученые также опередили, что двое человек были связаны второй степенью родства: одному из мальчиков взрослая женщина приходилась двоюродной сестрой, тетей или бабушкой. Находки гетероплазмий и родственных особей позволили сделать вывод, что все неандертальцы в Чагырской пещере жили и умерли примерно в одно и то же время.

ЭТО ПЕРВЫЙ СЛУЧАЙ, КОГДА УДАЛОСЬ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ГЕНЕТИКУ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НЕАНДЕРТАЛЬСКОЙ ОБЩИНЫ. ПОРАЗИТЕЛЬНОМ ОТКРЫТИЕМ СТАЛО ТО, ЧТО ВСЕ НЕАНДЕРТАЛЬЦЫ ИМЕЛИ КРАЙНЕ НИЗКОЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ВНУТРИ СООБЩЕСТВА, СООТВЕТСТВУЮЩЕЕ РАЗМЕРУ ГРУППЫ В 10–20 ЧЕЛОВЕК.

Это намного ниже, чем зафиксировано для любого древнего или современного человеческого сообщества, и скорее сопоставимо с вымирающими видами, находящимися на грани вымирания. Однако неандертальцы не жили в полностью изолированных сообществах. Ученые выяснили, что общины были связаны в основном через брачный обмен женскими особями. Статья, рассказывающая об исследовании, вышла в журнале *Nature*.



Источник: Научная Россия

Президентская программа исследовательских проектов

СЛАБАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ МАТРИЦЕЙ И ВОЛОКНОМ УВЕЛИЧИЛА ПРОЧНОСТЬ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

НАЗВАНИЕ ПРОЕКТА

Высокопрочный углеалюминиевый композит со слабыми границами



Руководитель проекта

Сергей Николаевич Галышев

кандидат технических наук



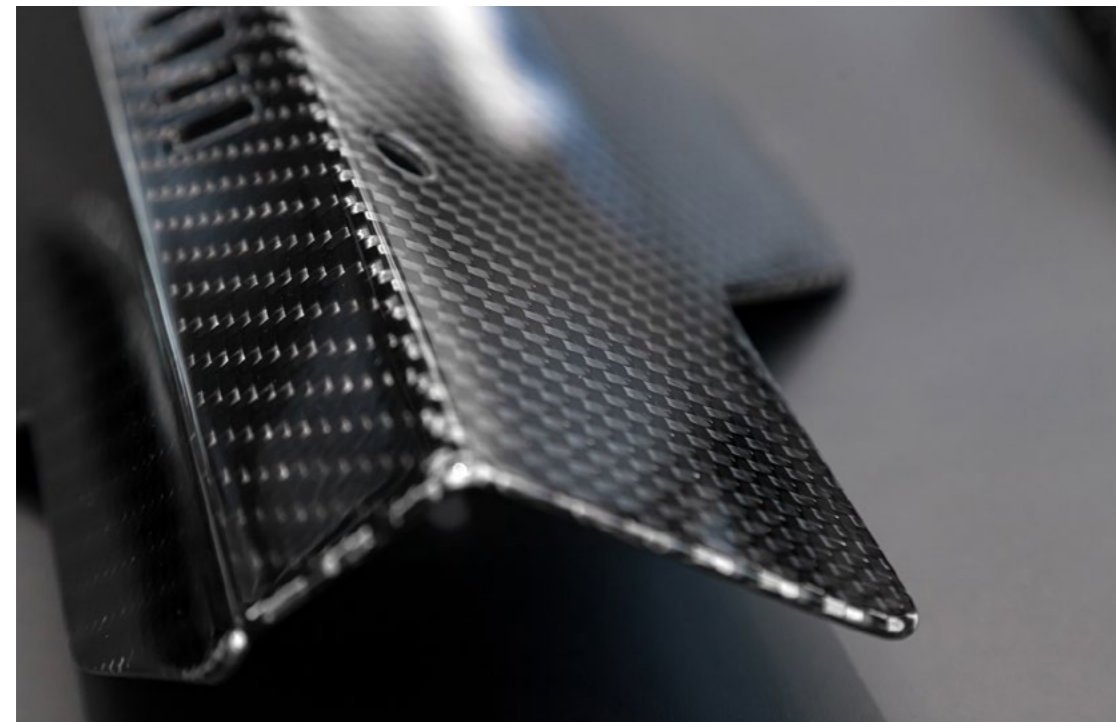
Институт физики твердого тела имени Ю. А. Осипяна РАН



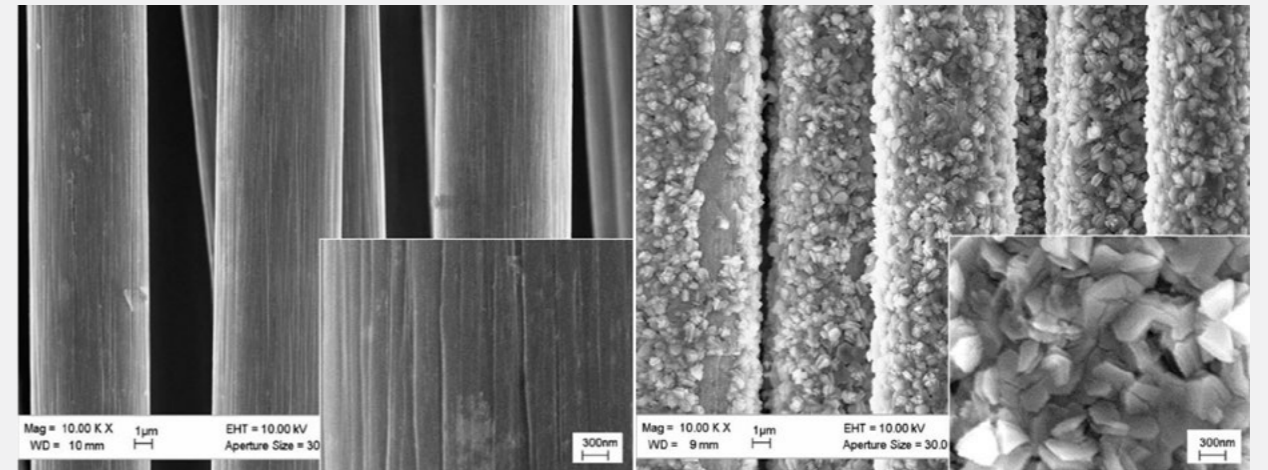
Черноголовка



июль 2022 – июнь 2025



Композитные материалы широко применяются в автомобилестроении, авиационной и ракетной отраслях



Микрофотографии поверхности углеродного волокна, извлеченного из композита: (а) в исходном состоянии, (б) после термообработки при 600°C. Источник: Galyshev and Atanov / Metals, 2022

Волокнистые композиты состоят из матрицы, то есть основного материала, в который погружены тонкие нити второго компонента, необходимого для укрепления. Роль матрицы могут выполнять полимеры, металлы или керамика, а в качестве «арматуры» используются углеродные, карбидокремниевые, борные или стеклянные волокна. Благодаря этому композит приобретает высокую прочность, жесткость и меньший вес и может использоваться в силовых конструкциях самолетов и ракет.

ФИЗИКИ ИССЛЕДОВАЛИ, КАК ИЗМЕНЯЕТСЯ ПРОЧНОСТЬ ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИТА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СВОЙСТВ ГРАНИЦЫ МЕЖДУ ЕГО КОМПОНЕНТАМИ. В КАЧЕСТВЕ МАТРИЦЫ АВТОРЫ ИСПОЛЬЗОВАЛИ СПЛАВ АЛЮМИНИЯ И ОЛОВА, А АРМИРОВКОЙ СЛУЖИЛО УГЛЕРОДНОЕ ВОЛОКНО.

Свойства границы раздела в композите ученые изменяли с помощью нагрева в диапазоне от 300 °C до 600 °C. После этого они анализировали прочность и характер разрушения полученных образцов. Оказалось, что по мере увеличения температуры поверхность углеродных волокон покрывается мелкими кристаллами карбида алюминия. Благодаря этому прочность границы между компонентами становится выше, а вот прочность композитной проволоки постепенно снижается. При этом сильная связь между компонентами приводит к тому, что, когда в материале при нагрузке возникает трещина, она распространяется в плоскости, в которой изначально образовалась. Это снижает прочность композита. Напротив, «слабая» граница препятствует развитию трещины и служит для нее своего рода стопором.

Глубокое понимание механики разрушения композитов поможет организовать технологию производства так, чтобы в полной мере реализовать их потенциал. Статья вышла в журнале *Metals*.



**СО
БЫ
ТИЯ**



ОКТАБРЬ



ГРАНТОПОЛУЧАТЕЛИ РНФ ВЫСТУПИЛИ НА ВСЕРОССИЙСКОМ ФЕСТИВАЛЕ НАУКИ НАУКА 0+

С 7 по 9 октября под девизом «Создавая будущее» прошел фестиваль НАУКА 0+ — главное научно-популярное событие года и один из ключевых проектов Десятилетия науки и технологий, стартовавшего в апреле 2022 года. На этот раз событие охватило 16 миллионов человек. В рамках фестиваля в московском парке «Зарядье» Фонд провел лекторий «Мозг, еда, тело»: о своих исследованиях рассказали восемь грантополучателей РНФ. Мероприятие прошло в смешанном формате: ученые не только читали лекции, но и отвечали на вопросы слушателей. Учащиеся специализированного учебно-научного центра МГУ имени М. В. Ломоносова расспрашивали лекторов о науке, работе и о жизни. Всего лекторий посетило офлайн и онлайн более 800 тысяч человек.

НОЯБРЬ

ПОДВЕДЕНЫ ИТОГИ ТРЕХ КОНКУРСОВ ФОНДА

РНФ объявил результаты первого совместного конкурса с Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (БРФФИ) и второго совместного конкурса с Государственным фондом естественных наук Китая (NSFC). По итогам будут поддержаны 34 российско-белорусских и 67 российско-китайских коллективов. По словам заместителя генерального директора РНФ Андрея Блинова, на конкурс с китайскими партнерами поступило рекордное количество заявок — более 800. Все допущенные к конкурсу заявки прошли независимую экспертизу специалистов двух стран. Победителями стали коллективы, которым удалось получить положительную оценку как российских, так и китайских экспертов.

Кроме того, подведены итоги конкурса проектов малых отдельных научных групп: Экспертный совет Фонда отобрал 2017 проектов. Целью конкурса является формирование исследовательских команд и развитие новых для научных коллективов тематик.



Конкурс 2022 года
новых проектов малых
отдельных научных
групп



Первый совместный
конкурс РНФ и БРФФИ



Второй совместный конкурс
Российского научного фонда
(РНФ) и Государственного фонда
естественных наук Китая (NSFC)

НОЯБРЬ – ДЕКАБРЬ



НАЧАТ ПРИЕМ ЗАЯВОК НА МОЛОДЕЖНЫЕ КОНКУРСЫ ПРЕЗИДЕНТСКОЙ ПРОГРАММЫ И ПРОДЛЕНИЕ ПРОЕКТОВ

Фонд объявил о начале приема заявок на два конкурса — инициативных исследований молодых ученых и молодежных научных групп, а также на продление сроков выполнения проектов научных групп под руководством молодых ученых, поддержанных Российским научным фондом в 2020 году. Размеры грантов для исследователей составят до 6 миллионов рублей ежегодно.



ИН ТЕР ВЬЮ



СЕРГЕЙ ПОНОМАРЕНКО

доктор химических наук, директор Института синтетических полимерных материалов имени Н. С. Ениколопова РАН

Гибкие дисплеи, солнечные батареи нового поколения, печатные датчики, человекоподобные роботы — все это не мечта фантаста, а области применения органической электроники. При поддержке гранта РНФ научная группа Сергея Пономаренко, доктора химических наук, директора Института синтетических полимерных материалов имени Н. С. Ениколопова РАН, занимается созданием материалов, которые откроют путь к этой технологии. Исследователи работают сразу в нескольких направлениях: искусственная кожа и мышцы, электронный нос, язык и глаз. О том, зачем нужны такие устройства, и о преимуществах органической электроники в целом, читайте в интервью.

Зачем нужна органическая электроника и в чем ее ценность?

Толчком для развития органической электроники стала Нобелевская премия 2000 года за открытие и исследование проводящих полимеров. Дело в том, что в конце XX века изучали полимеры, и неожиданно получилось соединение с металлическим блеском — то есть выглядело оно, как металл. Из полимеров такого типа (и не только полимеров — олигомеров

и низкомолекулярных соединений), которые проводят электрический ток как металлы, либо проявляют полупроводниковые свойства, как кремний, сделали органические светоизлучающие диоды. Органические светодиоды — это элементарные устройства органической электроники, которые используются в последнем поколении современных дисплеев, появившемся после дисплеев на основе жидких кристаллов.



Поддержка РНФ — замечательный ресурс, который позволяет развивать новые направления.

Аспирант Дмитрий Гайков синтезирует новый органический полупроводник



Чем отличается органическая электроника от неорганической? Тем, что она может быть сделана на гибкой основе: есть ужегибающиеся телефоны, есть прототипы телевизоров, которые просто сворачиваются. В случае других применений, например в солнечных батареях, она может быть полупрозрачной и разноцветной. Обычная кремниевая электроника хрупкая, непрозрачная, достаточно тяжелая и дорогая. А вот электронику на основе органических проводников и полупроводников можно сделать дешевой при массовом производстве (хотя пока что органические проводники достаточно дорогие) и, используя печатные технологии, выпускать, как газеты — метры в секунду. При этом у нее будут

уникальные свойства, которые не везде, но интересны: гибкие дисплеи, гибкие системы освещения, гибкие солнечные панели. Например, представьте, что в будущем можно будет печатать обои, которые наклеил, — и это стена, меняющая освещение. Либо это вообще будет экран, который показывает картинки. Вы смотрели фильм «Аватар»? Вот на основе органической электроники все, что там было показано, можно сделать.

ЭЛЕКТРОНИКУ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ МОЖНО СДЕЛАТЬ ДЕШЕВОЙ И ВЫПУСКАТЬ, КАК ГАЗЕТЫ — МЕТРЫ В СЕКУНДУ.

Мы, правда, в рамках нашего проекта конкретно этих направлений не коснулись. У нас — органическая биоэлектроника и робототехника. Почему биоэлектроника? Дело в том, что на основе транзисторов с органическими полупроводниками получаются очень хорошие, очень чувствительные сенсоры. Они легкие, гибкие, печатные и доступные. Например, это могут быть сенсоры на различные токсичные газы — отсюда и родилась идея получения электронного носа.



▲ Магнитная мешалка помогает равномерно перемешивать реагенты внутри колбы в инертной атмосфере

Сам по себе электронный нос — это технология использования матрицы или нескольких сенсоров. Анализируя их показатели методами машинного обучения, можно не только измерить концентрацию того или иного вещества, но и понять, что это за вещество в принципе, то есть фактически распознать запах.

Можно делать не только газовые сенсоры, но и жидкостные. Это касается направления, связанного с электронным языком,

то есть матрицы сенсоров, распознающей какие-то компоненты в образце жидкости, как это делает наш язык. И если газовыми сенсорами мы занимались и раньше, то электронный язык стал для нас совершенно новым направлением — мы его развили с нуля в рамках проекта РФФ. Наша научная группа сделала универсальную платформу жидкостных сенсоров и проверила ее на вирус гриппа А. Но развивая ее дальше, можно будет детектировать и другие вирусы, например коронавирус, и различные биологические молекулы.

У нас есть и такое направление, как электронный глаз. Мы его так называем, потому что глаз — это практически фотодетектор. Идея электронного глаза родилась из фотовольтаики: в литературе было показано, что те же молекулы, которые используются в органических солнечных батареях, фоточувствительны, и если их поместить в глаз крысы, то слепая крыса начинает видеть. Не всегда, а тогда, когда у нее нервы живые, а фоторецепторы повреждены. То есть можно заменить естественные фоторецепторы на искусственные — получится своего рода протез для глаз.

Также у нас есть направление «искусственная кожа». Что такое кожа? Это, по сути, тоже сенсор, только отвечает за температуру и давление. И на основе наших разработок, собственно, такие сенсоры температуры и давления мы делаем.

И последнее направление нашей работы — искусственная мышца. Это то, что называется актюатор. В дословном переводе с английского — движитель, привод. В современной робототехнике используются электрические

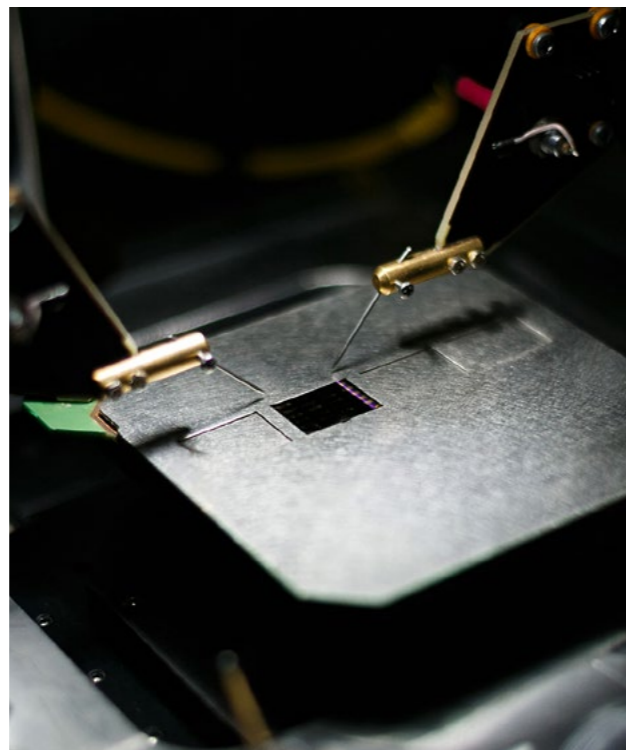
двигатели с механическими элементами передачи: подключается электричество, мотор начинает крутиться, вжик-вжик — все движется, как у терминатора. Используемая в проекте идея заключается в том, чтобы электрический моторчик в механических устройствах заменить на такие полимерные материалы, которые при подаче внешнего поля — например, того же электрического поля или фотовоздействия — меняли бы свою форму. Это изменение формы можно использовать для движения.

ИДЕЯ В ТОМ, ЧТОБЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОТОР ЗАМЕНИТЬ НА ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, КОТОРЫЕ ПРИ ПОДАЧЕ ВНЕШНЕГО ПОЛЯ МЕНЯЛИ БЫ СВОЮ ФОРМУ.

Фактически наша работа разделилась на пять маленьких проектов РНФ, и каждый идет в своем направлении. Но они взаимосвязаны, потому что это единая технология, единая электроника.

Наши глаза и уши устроены с физической точки зрения все же несколько проще, нежели нос и рот. Соответственно, исследователям должно быть сложнее работать с последними, потому что там много рецепторов — и обонятельные, и вкусовые. Например, нос только у человека — это 10 миллионов сенсорных нейронов и 350 рецепторных белков!

Понятно, что мы гораздо более простые системы делаем. У нас только четыре



Полуавтоматическая проб-станция помогает измерять характеристики транзистора — ток и напряжение

группы сенсоров, которые по-разному реагируют на различные примеси в воздухе. Тем не менее, это позволяет уже кое-что различать. Конечно, по универсальности до человеческого носа мы не добрались. Но есть и свои преимущества: наш электронный нос более чувствителен к некоторым газам — например, сероводород он почувствует раньше, чем человек.

У вас достаточно комплексный проект, и иногда приходится подключать биологов и других специалистов. Расскажите, пожалуйста, чуть больше о ваших фундаментальных партнерах.

Нам удалось привлечь коллег из Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии человека РАН. Они проводили эксперименты, в частности с биологическими клетками, с теми же крысами. Также



Научный сотрудник Аскольд Труль измеряет электрические характеристики органических полевых транзисторов

у нас есть партнеры из Университета Суррея, профессор Максим Шкунов. Мы с ним встретились на конференции и поняли, что занимаемся близкими вещами. Проект позволил профинансировать поездку членов научного коллектива в институт к профессору, где они провели ряд экспериментов, которые у нас было негде сделать. В результате появилась хорошая научная статья.

А что касается промышленных партнеров?

Это самый сложный вопрос, поскольку без поддержки промышленности проект не мог бы состояться. Так, холдинг «Сибур», по сути, сподвиг нас подать заявку в РНФ, поскольку компании необходимо было разработать новые материалы для робототехники с перспективой

их производства в 2025–2030 годы. Собственно, с подачи коллег-менеджеров из RnD* «Сибур» мы и написали заявку. Поскольку у нас не было большого задела в этой области, мы сделали его комплексным — то есть исследовали не только материалы для искусственных мышц, но и другие функциональные материалы и устройства для человекоподобного робота — глаз, нос, рот и кожу.

Зачем в итоге вашим партнерам нужен такой «электронный человек»?

Иногда с партнерами бывают сложные взаимоотношения. За время проекта у «Сибура» поменялось несколько менеджеров, которые работали над этим направлением, включая начальника RnD.

* RnD, от англ. *Research and Development* — «Исследование и развитие». Подразделение, которое анализирует инициативы в отрасли и разрабатывает пути их реализации.



Младший научный сотрудник
Полина Шалошник у стенда
для измерения газовых
сенсоров

Научную работу ставили на паузу, пытались переориентировать с продуктов будущего на то, что можно запустить в производство уже сегодня. В какой-то момент с долгосрочными перспективами стало все сложно, поэтому в определенный момент предусматривалось появление второго индустриального партнера. Мы привлекли АО «Гознак», которого интересуют печатные технологии. Для него стали делать печатные сенсоры влажности, температуры, давления — по сути, элементы электронной кожи, создаваемые в рамках проекта. Здесь мы достаточно успешно продвинулись, причем не только в разработке самих материалов, но и в электронике к ним. Мы создали свою платформу, которую, надеюсь, доведем до конкретного

продукта. Пока это только лабораторные прототипы. Сейчас они на испытаниях у заказчика. После успешных испытаний, я надеюсь, мы сможем перейти от НИР к ОКР.

Что в итоге планируется создать?

Гознак интересуют печатные технологии, поскольку они специалисты в полиграфии. Компания не только выпускает какие-то документы, но и смотрит, куда развивается мир. А мир развивается в область печатной электроники и датчиков. Поэтому Гознак обращает внимание на продукты, которые можно массово производить на оборудовании, аналогичном тому, на котором печатают, например, банкноты.

За рубежом есть подобные разработки?

Есть очень много различных примеров, где используются печатные датчики давления, температуры и влажности. Скажем, для контроля состояния у спортсменов используются различные сенсоры, которые позволяют измерить температуру, давление, пульс и так далее. В качестве варианта рассматривается и интернет вещей. Есть различные объекты, у которых нужно определять разнообразные характеристики — например, давление на полку с продуктами в супермаркете, температуру и влажность в помещении или на улице — и передавать эти данные на какую-то вычислительную платформу.

нужны заказчикам — как указано в техническом задании, а, может, даже и лучше.

Можете привести пример?

Я могу рассказать про газовые сенсоры на органических транзисторах, которые чувствительны к полярным газам, таким как сероводород, аммиак, оксиды азота. Есть такой параметр — предел обнаружения. В нашем случае для разных газов он находится в пределах от нескольких десятков миллиардных долей до сотен. Например, этилперкаптан — газ-одорант, который добавляют в природный газ для обнаружения его утечек, — мы можем обнаружить в концентрации до 30 миллиардных долей, что ниже чувствительности человеческого носа. То есть наши сенсоры более чувствительны, чем человеческий нос. Их можно применять для контроля свежести продуктов или степени загрязнения воздуха. Например, наблюдать за предприятиями, которые производят выбросы, связанные с тем же оксидом азота, сероводородом или аммиаком. С помощью наших сенсоров мы можем проверить, находится ли загрязнение на уровне предельно допустимых концентраций или есть превышение.

По этому направлению у нас также велись переговоры с другими потенциальными индустриальными партнерами, в частности с «Норникелем». В принципе, недорогая система мониторинга загрязнений воздуха интересует многие промышленные предприятия, но им уже сейчас нужны готовые решения. Вложиться же в ОКР от идеи до конкретного продукта — с этим у нас очень сложно, потому что есть готовые зарубежные

НАШИ СЕНСОРЫ БОЛЕЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫ, ЧЕМ ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ НОС. ИХ МОЖНО ПРИМЕНЯТЬ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВЕЖЕСТИ ПРОДУКТОВ ИЛИ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА.

А на ней уже можно методами машинного обучения давать прогнозы о том, когда нужно на какую-то полку выставить товары или в каком-то помещении включить отопление, или контролировать условия перевозки и хранения товаров. Здесь много применений — нужно просто определиться с конкретной задачей, и под нее разрабатывать конкретные устройства.

Что касается технических показателей, какова сейчас чувствительность всех этих разработанных датчиков?

Все по-разному, зависит от конкретного сенсора. Чувствительность и технические характеристики мы делаем те, которые

решения, хотя они и дорогие. Наше преимущество в том, что разработанная нами система сенсоров на основе органических полевых транзисторов достаточно компактная и недорогая при массовом производстве.

Например, в Москве стоит 60 огромных вагонов с современными дорогими аналитическими приборами, которые все мониторят. Но это не компактно и достаточно дорого. А мы предлагаем небольшую систему — сеть коробочек, которая позволяла бы отслеживать вредные выбросы, опасные загрязнения. Мы общались с правительством Москвы на эту тему, договорились о полевых испытаниях. Посмотрим, насколько данные нашей коробочки соответствуют тому, что показывает этот большой вагон с современными дорогими приборами! Это тоже небыстро движется, но наметки есть. Доработаем до критических характеристик, а дальше посмотрим.

Проблема связана в основном с тем, что даже московское правительство не поддерживает ни опытно-конструкторские работы, ни научно-исследовательские. Они хотят купить готовую продукцию, но в этом и сложность — мы же не производим готовые изделия, только лабораторные образцы. Нужно найти источник финансирования, в рамках которого наша разработка будет доведена до конечного серийного продукта.

У разработанных вами лабораторных образцов есть ограничения по чувствительности или по каким-то другим параметрам? И можно ли разработать еще более совершенные сенсоры?

Здесь вопрос заключается в том, что нужно заказчиком. Можно пытаться тот или иной параметр сделать рекордным, а потом окажется, что это никому не интересно. Скажем, сделали точность в один градус для датчика температуры — и если этого для конкретного применения достаточно, то зачем дальше убиваться?

При переходе от научно-исследовательских работ к опытно-конструкторским зачастую важными становятся совершенно не те параметры, за которые вы боролись в процессе создания прототипа. Например, разработчики солнечных батарей борются за их эффективность, а потом оказывается, что важна вовсе не она, а стабильность. Рекордная органическая солнечная батарея может показать эффективность 20%, но если она будет падать в несколько раз через месяц — это никому не нужно, поэтому пусть лучше работает с эффективностью 10%, но стабильно.

МНЕ ХОЧЕТСЯ, ЧТОБЫ НАУЧНЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ В КОНЦЕ КОНЦОВ ДОХОДИЛИ ДО ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ.

Все это становится понятно только на этапе постановки конкретного технического задания конкретным заказчиком. Одним нужно одно, другим — другое, в научно-исследовательских работах всего не предусмотреть. Поэтому нет смысла заранее мучиться и оптимизировать или добиваться рекордов по какому-то одному параметру. Не хватит никаких ресурсов, ни времени, ни сил.



▲ Постдок Гагик Казарян демонстрирует работу актуатора (электронной мышцы), который поднимает гирию массой 1 кг

Скажите, какая у вас научная мечта?

Мне хочется, чтобы научные изобретения в конце концов доходили до практического применения. Чтобы были некие устройства, созданные на наших материалах, и они реально работали. Мне кажется, это мечта любого ученого. Хотя разные есть люди, в том числе специалисты по фундаментальной науке, которые развивают важные вещи, но до практического применения они дойдут лет через сто или больше. Взять те же жидкие кристаллы — их открыли более 130 лет назад, не понимая, что это за состояние вещества. До применения реально прошло почти сто лет, и ученые-первооткрыватели не дожили до этого дня.

Сейчас, конечно, наука очень быстро развивается — гораздо быстрее, чем раньше. Очень много конкурентов появляется. В той же органической электронике сейчас первую скрипку играют китайские ученые. Хотя, например, масштабно первыми коммерциализовали

органическую электронику корейцы — и фактически единственными. У Samsung лучший дисплей на основе органических светодиодов. Они вложили очень много ресурсов в это направление, пригласили лучших ученых со всего мира, чтобы довести эту технологию до реального применения. И сейчас те же OLED-дисплеи* компания Apple для своих смартфонов покупает у Samsung.

Как вы оцениваете поддержку РНФ?

Я считаю, что это замечательный ресурс. Объем поддержки Российского научного фонда позволяет реально развивать новые направления. В нашем случае это направления, связанные с биоэлектроникой, электронным языком, актюаторами. Мы продолжаем совершенствовать и те разработки, которые были у нас прежде — газовые сенсоры, фотовольтаика, электронный глаз. И Фонд здесь очень сильно помог. Я считаю, что такого уровня поддержки должно быть больше.

* OLED, от англ. *Organic Light Emitting Diode* — органический светоизлучающий диод.



**Благодаря гранту РНФ
мы смогли собрать
сильных профессионалов
из разных областей
науки.**



СЕРГЕЙ КУДРЯШОВ

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник
Физического института РАН имени П. Н. Лебедева

Россия занимает первое место в мире по запасам и производству алмазов. Ежегодно на месторождениях в Якутии и Архангельской области добывают в среднем 40 млн карат алмазов. Большая часть минералов используется для технических нужд, и только 20 % драгоценных камней становятся украшениями. Перед тем, как попасть к покупателям, алмазы проходят длинный путь. Для того, чтобы в любой момент подтвердить происхождение редких и дорогих минералов, производители выполняют трейсинг – регистрацию всех этапов, которые алмаз проходит от месторождения до ювелирного магазина. Однако, существующие технологии отслеживания имеют ряд недостатков. Совершенствовать трейсинг помогает фундаментальная наука. Группа ученых Физического института РАН имени П. Н. Лебедева, работающая под руководством Сергея Кудряшова, предложила принципиально новый способ маркировки алмазов, который позволяет идентифицировать драгоценные камни с вероятностью 100%. Эта работа ведется в рамках масштабных исследований в области фотоники алмазов, поддержанных грантом РНФ.



Сергей Иванович, для чего нужно отслеживать алмазы?

Для того, чтобы специалисты или покупатели могли убедиться: перед ними настоящий алмаз легального происхождения, а не синтетический или «конфликтный» камень. Более полувека назад ученые научились выращивать в лабораториях искусственные алмазы. Технологии совершенствуются, и современные синтетические кристаллы почти идентичны природным по своим физическим и химическим свойствам, обладают высокой степенью чистоты, как и наиболее редкие и дорогие природные алмазы. Более того, производители имитируют спектральные характеристики, характерные для настоящих алмазов. Сегодня на вторичном рынке много таких искусственных алмазов продается под видом природных.

Еще одна проблема отрасли — алмазы, которые добывают в Африке, в зоне военных конфликтов. Нередко разработка таких месторождений ведется с использованием рабского и детского труда, а прибыль от продажи драгоценных камней

ТРЕЙСИНГ — ЭТО НЕЗАМЕНИМЫЙ ИНСТРУМЕНТ, КОТОРЫЙ ПОЗВОЛЯЕТ УЧАСТНИКАМ РЫНКА ОПРЕДЕЛЯТЬ ПРОИСХОЖДЕНИЕ АЛМАЗОВ, ИСКЛЮЧАЯ ИЗ ПРОДАЖИ КОНТРАФАКТ.

получают преступные сообщества. Чтобы этими «конфликтными» и «кровавыми» алмазами было неопасно торговать, в начале 2000-х годов появились международные органы — Кимберлийский процесс и Всемирный алмазный совет.

▲
Старший научный сотрудник Павел Данилов и научный сотрудник Елена Римская проводят исследования фотолуминесценции алмазов с помощью конфокального микроскопа

Трейсинг — это незаменимый инструмент, который позволяет участникам рынка определять происхождение алмазов, исключая из продажи контрафакт.

Для того, чтобы кристалл отследить, его нужно каким-то образом маркировать, верно?

МЫ ПОШЛИ ДАЛЬШЕ И ПОПРОБОВАЛИ РАЗМЕСТИТЬ МЕТКУ ВНУТРИ АЛМАЗА.

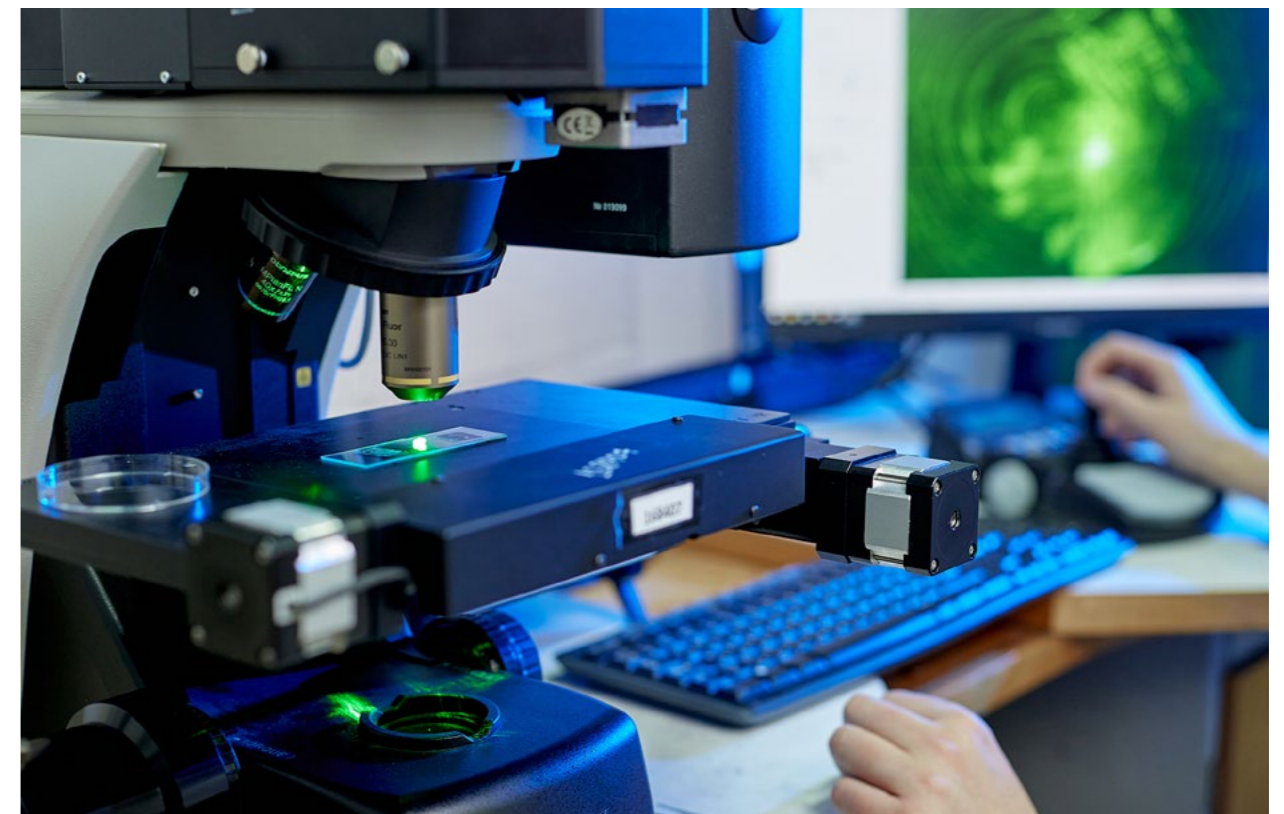
Совершенно верно. Причем следует сделать так, чтобы метка не испортила алмаз, была невидима и оставалась в камне даже

после переогранки. Распространенные способы маркировки не позволяют этого делать. Например, уникальный номер сертификата наносят на рундист — «поясок»

по периметру камня, за который бриллиант крепится в оправу. Но мошенники такую гравировку могут легко подделать.

Мы пошли дальше и попробовали разместить метку внутри алмаза. Произошло это лет десять назад, когда в лаборатории появилось современное оборудование. С помощью лазера ультракоротких импульсов мы нарисовали в толще камня треки из графита. Эти метки были невидимы невооруженным глазом и отвечали Кимберлийскому стандарту, то есть не просматривались через лупу с десятикратным увеличением. Но все же мы понимали, что черные графитовые метки необратимо снижают качество камня, а значит, падает и цена такого кристалла. Мы продолжили поиски.

▼
Свечение алмаза в луче возбуждающего зеленого лазерного излучения на предметном столике конфокального микроскопа



Исследования вышли на новый уровень после предложения Алексея Левченко, занимавшегося NV-центрами* в алмазе. Он обратил наше внимание на эти особые дефекты кристалла — оптические центры, включающие в себя атомы азота. Нам удалось подобрать такие условия, чтобы при воздействии ультракоротких импульсов не происходила перестройка алмазной решетки в графитовую. Вместе с тем, в момент взаимодействия фемтосекундного излучения с кристаллической решеткой отдельные атомы азота становились подвижными и изменяли структуру исходных оптических центров, что позволяло сформировать в камне полностью прозрачное люминесцентное микроизображение из модифицированных лазером оптических центров.

В чем преимущества технологии? Заинтересовала ли она промышленные предприятия?

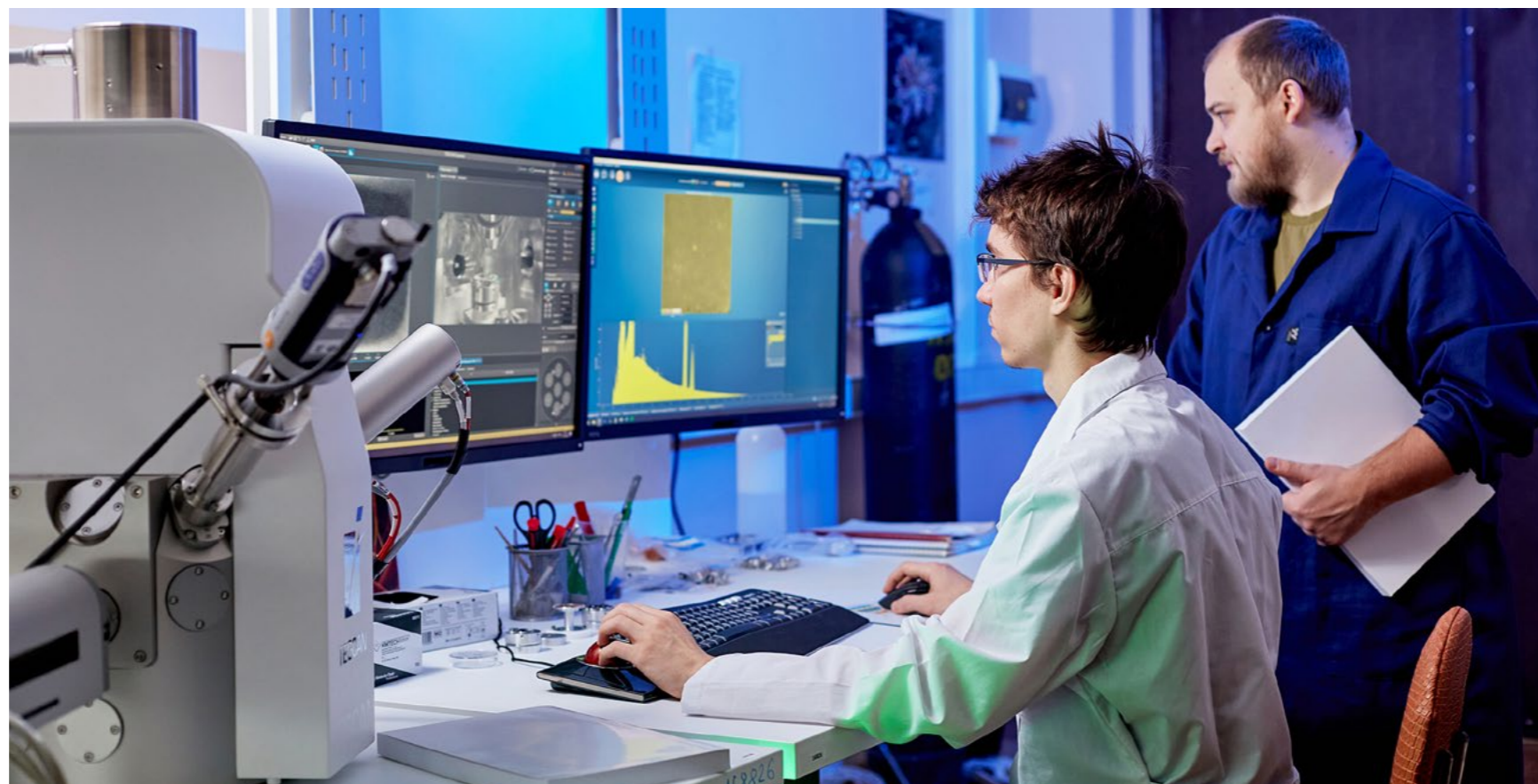
В рамках технологии, разработанной нашим технологическим партнером — компанией «Микролазер», в алмазе можно записать QR-код или штрихкод и привязать к нему информацию о камне — где произведен, фото, характеристики и так далее. Эти данные доступны через сеть в облачном хранилище.

Важно, что наномаркировка не влияет на качество алмаза. Нашу фотолюминесцентную микромасштабную метку не видят геммологи, ее можно считать только особым сканером, используя лазерное излучение определенной длины волны. Еще одно преимущество

заключается в том, что рисунок распределяется по всему объему алмаза. Благодаря этому бриллианты, получившиеся после распила и огранки алмаза, сохраняют уникальный код.

Когда стала очевидна перспективность технологии, интерес к ней стали проявлять алмазодобывчики. С лабораторией и компанией «Микролазер» начала сотрудничать компания «АЛРОСА», которая предоставила для экспериментов минералы со своих

В АЛМАЗЕ МОЖНО ЗАПИСАТЬ QR-КОД ИЛИ ШТРИХКОД И ПРИВЯЗАТЬ К НЕМУ ИНФОРМАЦИЮ О КАМНЕ.



▲ Научный сотрудник Евгений Кузьмин и аспирант Илья Гриценко проводят исследования рельефа и химического состава поверхности алмазов с помощью сканирующего электронного микроскопа 4-го поколения

месторождений. С этого стартовала инженерная линия проекта: были разработаны устройства для записи и считывания меток, а также усовершенствованы технологические решения. Сейчас процесс нанесения метки занимает несколько минут, а сканирование происходит за секунды. На старте эти показатели были существенно хуже.

ЛАЗЕРНАЯ МАРКИРОВКА ПОЛУЧИЛА РОССИЙСКИЙ ПАТЕНТ, СЕЙЧАС ТЕХНОЛОГИЮ ПАТЕНТУЮТ В США, КИТАЕ, ГОНКОНГЕ, МАКАО, ТАЙВАНЕ, ВЕЛИКОБРИТАНИИ, ИЗРАИЛЕ, БЕЛЬГИИ И ИНДИИ.



Лазерная маркировка получила российский патент, сейчас технологию патентуют в США, Китае, Гонконге, Макао, Тайване, Великобритании, Израиле, Бельгии и Индии. Разработка успешно завершилась, но научные исследования, ориентированные на более глубокие задачи в рамках мегапроекта, поддержанного грантом Российского научного фонда, продолжаются.

Какие? Расскажите о них подробнее.

Прежде всего — это создание лаборатории мирового уровня в интересах развития научно-технического комплекса России. Важнейшие направления исследований, актуальные задачи и инструментальные методы, способные их решать, вырисовываются уже сейчас. Но, возможно, со временем появится нечто большее — новая научная школа, которая предложит иное видение перспектив фотоники алмазов с учетом широких

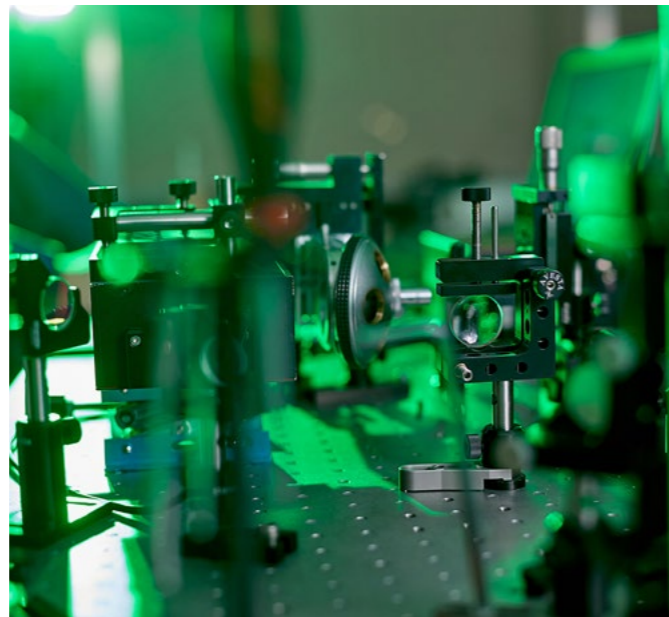
* NV-центр — точечный дефект алмаза, представляющий собой атом азота и вакансию в соседнем узле кристаллической решетки. Дефекты встречаются в природных и синтетических кристаллах из-за большого количества азота в окружающей среде.

возможностей современного лазерного, спектрально-оптического, электронно-микроскопического оборудования, позволяющего проникнуть в структуру алмаза и направленно ее изменить.

В ЦЕЛОМ МОЖНО СКАЗАТЬ, ЧТО УЧЕНЫЕ ТОЛЬКО-ТОЛЬКО ЗНАКОМЯТСЯ С МИКРОМИРОМ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА И УЗНАЮТ, КАКИЕ ОНИ БЫВАЮТ РАЗНЫЕ.

Задач множество — как научных, так и прикладных. Наша группа занимается детальной характеристикой структуры алмазов на микроуровне, разрабатывает принципы модификации — например, изменения окраски — природных и синтетических кристаллов при помощи фемтосекундных лазеров. Еще одно важное направление — создание иммерсионных составов с показателем преломления, близким к показателю преломления алмаза. Их использование позволит «заглянуть» внутрь необработанного драгоценного камня и увидеть оптические неоднородности, вкрапления, трещины. Сейчас сделать это в полевых условиях затруднительно без создания полированных участков (окон). В свою очередь, такая задача требует специального оборудования с учетом максимальной твердости алмаза. В скором будущем иммерсионные составы станут незаменимым инструментом для добывающих компаний, огранщиков и геммологов, в том числе для идентификации алмазов в ходе трейсинга.

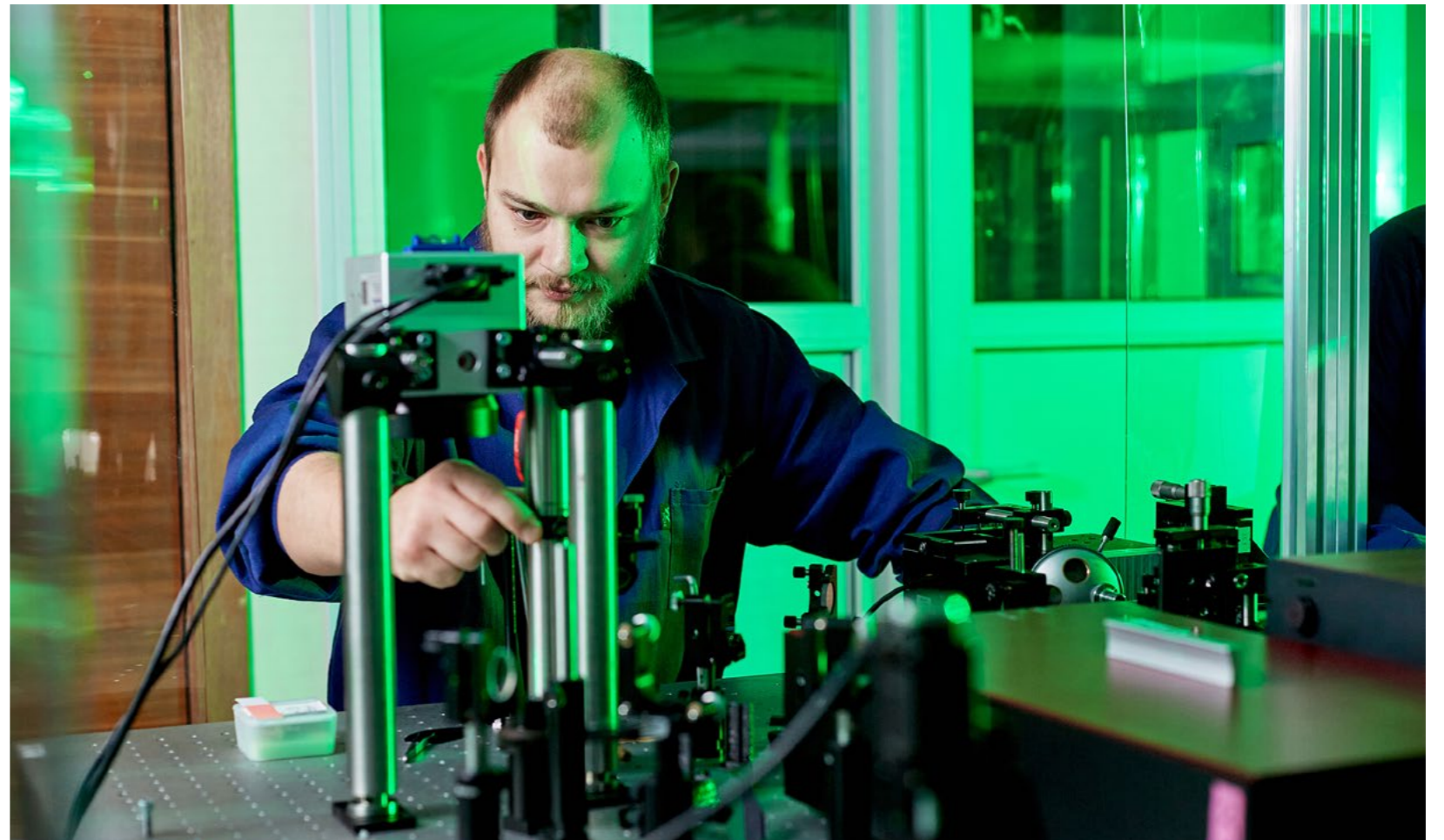
В целом можно сказать, что ученые только-только знакомятся с микромиром кристаллов алмаза и узнают, какие они бывают разные. Мир природных алмазов значительно более разнообразен, чем синтетических: реализация множества меха-



▲ Лазерный луч, бегущий в оптической схеме для лазерной микромаркировки алмазов (вид изнутри)

низмов роста и внутренней структуры, комбинация примесных компонентов обуславливают многообразие форм и окрасок. Исследование природных алмазов мы проводим совместно с геологическим факультетом МГУ имени М. В. Ломоносова и алмазодобывающей компанией «АПРОСА».

Мы исследуем базовую физику взаимодействия фемтосекундных лазерных импульсов с алмазом — особенности нелинейного распространения в кристаллах и фотовозбуждения, локального микро-масштабного взаимодействия фотовозбужденных электронов с кристаллической



▲ Научный сотрудник Евгений Кузьмин юстирует схему для лазерной микромаркировки алмазов

решеткой в план генерации пар дефектов Френкеля «междоузлие-вакансия», анизотропных механических напряжений в несколько десятков гигапаскалей и сильного локального нагревания в несколько тысяч градусов.

Каждый из указанных процессов может изменить структуру оптических центров алмаза, и разобраться, какой из них наиболее важен для модификации, не просто — это одна из основных задач наших исследований. Но, с другой стороны, благодаря этому мы располагаем большими возможностями для управления свойствами алмаза и получения принципиально разных результатов в их изменении,

в том числе с помощью управления спектром, длительностью и энергетикой лазерного излучения.

На этом солидном основании базируются наши перспективные планы, связанные со следующими этапами проекта: более глубокое знакомство с физикой и материаловедением алмазов, а также инновационное управление свойствами кристаллов. Речь в том числе идет о том, чтобы корректировать дефекты алмазов. Кроме того, мы планируем научиться создавать на этой оптической платформе передовые микро- и нано-оптические устройства.

Неудивительно, что ученым интересны натуральные камни, ведь каждый из них уникален в своем роде. А почему физики занимаются искусственными алмазами? Ведь они выращены в лабораториях и наверняка похожи друг на друга как близнецы.

Нет, технологии производства камней еще не настолько совершенны, чтобы получать кристаллы с одинаковыми заданными свойствами. Так что в этой области остается много вопросов. Например, искусственные алмазы, как и природные, часто содержат дефекты, о которых речь шла выше: в кристаллическую решетку из атомов углерода встраиваются атомы азота и другие элементы. Это влияет на цвет и прозрачность алмаза. С недавних пор мы можем изменять цвет синтетических кристаллов, модифицируя структуру окрашивающих их примесных оптических центров при помощи лазера.

Воздействуя лазерными импульсами на алмазы *Imperial Red Diamonds™* с красным оттенком, мы выяснили, что обработка приводит к обесцвечиванию большинства таких атомистических дефектов в местах облучения. Вероятно, атомы азота были «выбиты» излучением или же соединились в более крупные группы, не взаимодействующие с видимым светом. Таким образом мы можем убирать дефекты, повышая прозрачность и качество синтетических кристаллов. Кроме того, лазер дает возможность записать внутри камня систему штрих- или QR-кодов, чтобы с ее помощью контролировать оборот искусственных алмазов. То есть мы опять вернулись к трейсингу алмазов, с которого начали разговор.



Руководитель проекта
Сергей Кудряшов

В целом современные технологии открывают широчайшие возможности для изменения алмазов. Если классические способы облагораживания драгоценных камней — облучение частицами высоких энергий, нагрев, высокое давление — традиционными методами относительно легко идентифицировать, то в случае

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КАМНЕЙ ЕЩЕ НЕ НАСТОЛЬКО СОВЕРШЕННЫ, ЧТОБЫ ПОЛУЧАТЬ КРИСТАЛЛЫ С ОДИНАКОВЫМИ ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ. ТАК ЧТО В ЭТОЙ ОБЛАСТИ ОСТАЕТСЯ МНОГО ВОПРОСОВ.

применения ноу-хау определить происхождение камней уже затруднительно. Может, действительно, мы стоим на пороге нового технологического этапа в фотонике алмазов?

Сергей Иванович, что дает вашей группе поддержка Российского научного фонда?

Поскольку у нас большой проект со многими задачами, главная сложность заключается в том, чтобы создать компетентную и дружную команду. Благодаря гранту РФФ мы смогли не только привлечь молодое поколение к исследованиям мирового уровня, но и собрать сильных профессионалов из разных областей науки, вести исследования широким фронтом в разных междисциплинарных направлениях.

и первопроходец в области модификации свойств алмаза. Также с лабораторией сотрудничают эксперты международного проекта ITER*, коллеги из ВНИИАЛМАЗ и других российских центров, исследующих алмазы.

Такая кооперация дает положительный эффект развитой научной среды: когда разные люди исследуют одну и ту же задачу, возникает благоприятная научная среда для обмена мнениями. Ты можешь обсудить с коллегой-оппонентом свою идею, получить ее квалифицированный анализ.

На средства гранта мы приобрели уникальное дорогостоящее лазерное оборудование отечественного производства, позволяющее ставить и, в перспективе,

БЛАГОДАря ГРАНТУ РФФ МЫ СМОГЛИ НЕ ТОЛЬКО ПРИВЛЕЧЬ МОЛОДОЕ ПОКОЛЕНИЕ К ИССЛЕДОВАНИЯМ МИРОВОГО УРОВНЯ, НО И СОБРАТЬ СИЛЬНЫХ ПРОФЕССИОНАЛОВ ИЗ РАЗНЫХ ОБЛАСТЕЙ НАУКИ.

Помимо студентов и молодых ученых лаборатории, в число которых входят высококвалифицированные оптики — выпускники МГТУ имени Н. Э. Баумана, участниками проекта является хорошо известные специалисты алмазной науки: сотрудник геологического факультета МГУ Галина Криулина, представитель компании «АПРОСА» Олег Ковальчук, наш коллега из ФИАН Роман Хмельницкий. Отдельно хочу сказать о Викторе Винсе, который работает в компании «Велман». Это гуру алмазной прикладной науки

решать инновационные научные задачи, потенциально лежащие в основе новых технологий обработки алмазов, а, возможно, и других драгоценных камней.

В целом, поддержка Фонда позволяет нам выполнить уникальную программу масштабных фундаментальных и прикладных научных исследований в области лазерных технологий и материаловедения алмазов, заложить основы нового научного центра фотоники алмазов.

* ITER (ИТЭР), от англ. *International Thermonuclear Experimental Reactor* — международный термоядерный экспериментальный реактор.



СПЕЦ ПРО ЕКТ

ХРАНИТЕЛИ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Четвертая часть завершает специальный проект Российского научного фонда 2022 года «Хранители культурного наследия». Она посвящена современным технологиям, с помощью которых российские ученые исследуют объекты культурного наследия и сохраняют их для потомков.

НОВЫЙ ФОРМАТ ДРЕВНЕГО ИСКУССТВА

Повреждение или исчезновение любых образцов культурной ценности представляют собой пагубное обеднение достояния всех народов мира — говорится в Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО, принятой полвека назад. К настоящему времени она ратифицирована более чем 120 странами, в том числе и Россией.

СОХРАНЕНИЕ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ — ОДНА ИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ РОССИИ. НА ТЕРРИТОРИИ СТРАНЫ РАСПОЛОЖЕНО МНОЖЕСТВО ОБЪЕКТОВ МИРОВОГО ЗНАЧЕНИЯ, ОГРОМНОЕ КОЛИЧЕСТВО ДОСТОПРИМЕЧАТЕЛЬНОСТЕЙ, КОТОРЫЕ ПРИВЛЕКАЮТ МИЛЛИОНЫ ТУРИСТОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ УГОЛКОВ ПЛАНЕТЫ. В РОССИИ РЕАЛИЗУЮТСЯ ГОСУДАРСТВЕННЫЕ И ЧАСТНЫЕ ВОЛОНТЕРСКИЕ ПРОГРАММЫ ПО СОХРАНЕНИЮ ПАМЯТНИКОВ ИСТОРИИ И КУЛЬТУРЫ.

Сергей Обрывалин
первый заместитель министра культуры Российской Федерации

С развитием компьютерных технологий задача физического сохранения культурных ценностей вышла на новый уровень. Сегодня важно стремиться к тому, чтобы памятники живописи, архитектуры, декоративно-прикладного искусства и другие объекты стали частью информационной среды. Благодаря цифровизации региональные памятники в разных уголках планеты могут стать мировым достоянием.

В России ведется масштабная работа в этом направлении. Коллективы исследователей оцифровывают памятники древности и активно вводят их в научный оборот, одновременно делая их доступными для самой широкой публики. Значительное внимание ученые уделяют созданию и наполнению электронных банков данных по различным объектам культурного наследия — незаменимого информационного ресурса в XXI веке. Проекты в данной сфере выполняются в том числе и при финансовой поддержке Российского научного фонда.





▲ Петроглифы на территории Томской Писаницы — историко-культурного музея-заповедника в Яшкинском районе Кемеровской области. Источник: Елена Леванова

Цифровые двойники петроглифов

Памятники наскального искусства — это значимый пласт культурного наследия России, который может поведать нам о племенах, населявших огромную территорию тысячи лет назад. Творчество древних людей очень разнообразно — к палеоискусству относятся пещерная живопись, петроглифы на открытых скалах, а также этнографические рисунки.

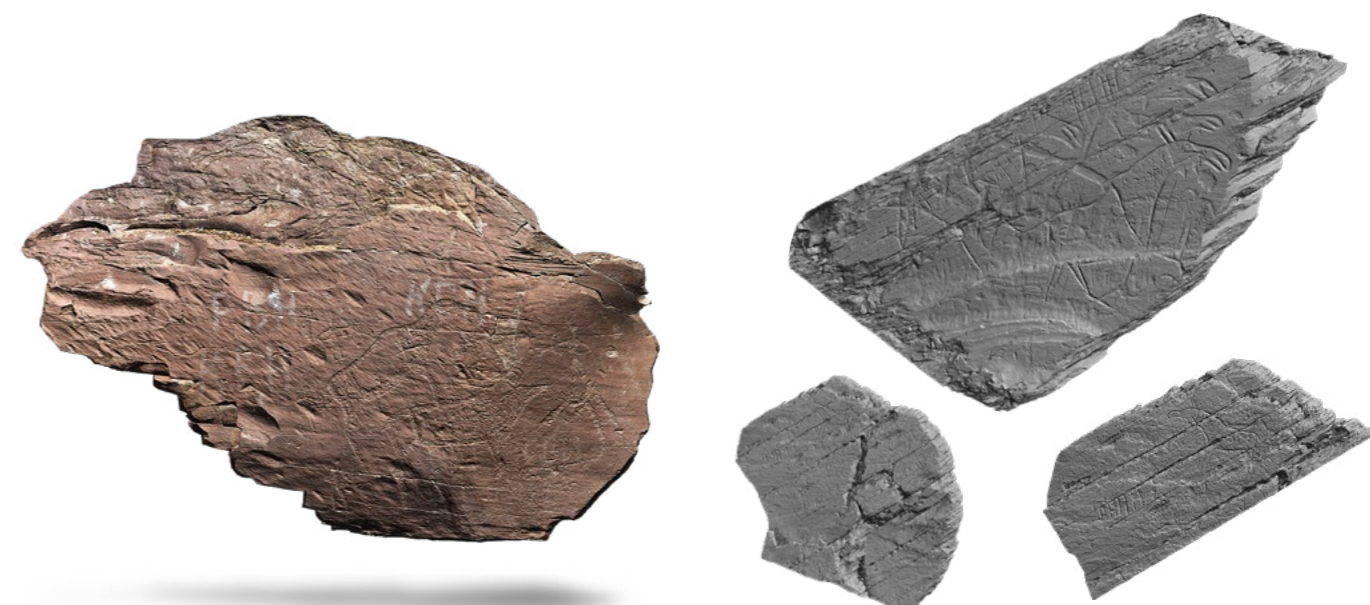
В нашей стране произведения наскального искусства обнаружены в Карелии и на Чукотке, в Забайкалье и на Дальнем Востоке. Большое количество памятников сосредоточено в Южной Сибири — в горном Алтае, Хакасии и Красноярском крае. Пожалуй, самым известным памятником является пещера Шульган-Таш в Башкортостане. Здесь в 1959 году были найдены рисунки охрой и углем, относящиеся к эпохе палеолита. Ученые определили, что возраст изображений составляет 14–17 тысяч лет. Наскальные памятники, созданные в разные эпохи при помощи различных техник, позволяют узнать об ареалах обитания наших предков, их образе жизни и верованиях.

ИЗУЧЕНИЕ ПАЛЕОИСКУССТВА — НЕПРОСТАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЗАДАЧА, ПОСКОЛЬКУ МНОГИЕ РИСУНКИ НАХОДЯТСЯ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ.

Изучение палеоискусства — непростая исследовательская задача, поскольку многие рисунки находятся в труднодоступных местах. Например, чтобы добраться до Пегтымельских петроглифов на Чукотке, археологам приходится выстраивать сложную логистическую цепочку, включающую вертолет и вездеходы. В результате самый северный памятник петроглифов России «вживую» видели лишь несколько специалистов.

Еще одна сложность заключается в том, что изображения страдают от воздействия природных факторов: камни выветриваются, осыпаются, зарастают лишайниками. Или уходят под воду как Оглахты — комплекс наскального искусства на скалах Енисея. После того, как в конце 1960-х годов было набрано Красноярское водохранилище, скалы оказались затоплены. Сегодня петроглифы можно увидеть лишь ранней весной или поздней осенью, во время низкой воды. От такого колебания уровня воды многие рисунки разрушились. К сожалению, люди тоже вносят свою лепту в уничтожение петроглифов: туристы нередко оставляют на камнях автографы, не осознавая ценности наскального творчества.

Документирование наскальных рисунков — это трудоемкий процесс, который был начат в XIX веке. Археологи делали с каменных рисунков эстампажи — бумажные оттиски. Для этого к поверхности щеткой прибивались несколько слоев увлажненной бумаги. Слои промазывали клейстером, и получался точный оттиск, с которого можно было сделать отливку из гипса или папье-маше. В Кунсткамере хранятся эстампажи, сделанные российским археологом и этнографом рубежа XIX–XX веков Александром Андриановым, передающие все особенности камня и мелкие штрихи. Это уникальный архив наскального искусства всей Сибири. Еще одним источником информации являются копии памятников, выполненные советским археологом и историком Алексеем Окладниковым. Но за десятилетия состояние эстампажей из хрупкой бумаги ухудшилось, и это затрудняет изучение копий. Кроме того, в распоряжении археологов есть большой архив прорисовок, выполненных предшественниками в XX веке. К сожалению, эти документы зачастую не содержат точную и детальную информацию о памятнике.



▲ Часть скалы с петроглифами (наскальными изображениями) оленей. Эти скалы находятся в живописном месте на границе Хакасии и Красноярского края, в Минусинской котловине. Источник: Елена Леванова

▲ Трехмерные модели частей скал в Томской Писанице. Источник: Елена Леванова

За последние десятилетия в исследовании наскальных изображений произошла революция, связанная с появлением новых технологий, которые позволяют проводить документирование на принципиально другом методологическом уровне. При поддержке гранта РНФ группа ученых Института археологии РАН, возглавляемая кандидатом исторических наук Еленой Левановой, поставила перед собой задачу создать единый банк данных всех памятников наскального искусства России.

ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ НАСКАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРОИЗОШЛА РЕВОЛЮЦИЯ, СВЯЗАННАЯ С ПОЯВЛЕНИЕМ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ.

Работа предстоит масштабная. За три года ученые оцифруют более 200 памятников, расположенных в Кемеровской области, Республике Хакасия, на Урале, в Красноярском и Хабаровском крае. В дальнейшем археологи планируют охватить наиболее значимые петроглифы страны.

В экспедициях ученые в сотрудничестве с коллегами из московской лаборатории RSSDA* документируют как саму поверхность с рисунками, так и ее ландшафтный контекст. В методологическом арсенале исследователей наземная и воздушная фотограмметрия, лазерное сканирование, спутниковая и инженерная геодезия.

Руководитель проекта, археолог Елена Леванова, получает координаты с помощью геодезического оборудования.
Источник: Елена Леванова



МЫ ЕДЕМ С ОГРОМНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ОБОРУДОВАНИЯ, КОТОРОЕ НУЖНО ДЛЯ ТОГО, ЧТОБЫ ПОЛНОСТЬЮ ДОКУМЕНТИРОВАТЬ ПАМЯТНИК УЖЕ НА СОВРЕМЕННОМ УРОВНЕ, СДЕЛАТЬ ЕГО ВИРТУАЛЬНУЮ КОПИЮ. НАША ЗАДАЧА — СДЕЛАТЬ ТАК, ЧТОБЫ КАЖДЫЙ РИСУНОК ТОЧНО ПОЗИЦИОНИРОВАЛСЯ НА КАРТЕ.

Елена Леванова
археолог, заведующий центром палеоискусства
Института археологии РАН

* Исследовательская лаборатория, чье название представляет собой аббревиатуру *Remote Sensing and Spatial Data Analysis* — дистанционное зондирование и анализ пространственных данных.



▲ Экспедиция на Сикачи-Алян к петроглифам возле одноименного нанайского села Хабаровского края. Источник: Игорь Георгиевский

▼ Поиски петроглифов на затопляемых водохранилищем скалах в Хакасском заповеднике Оглахты. Источник: Елена Леванова

Цифровые двойники древнего искусства можно увидеть на сайте RSSDA. Важно, что они позволят навсегда сохранить трехмерный облик памятника — гораздо полнее, чем фотография. Кроме того, виртуальные модели дают возможность увидеть в ином свете даже хорошо изученные рисунки. *«Когда вы приходите на памятник просто днем смотреть на петроглифы, вы не увидите многих изображений не потому, что они под лишайниками, а потому, что свет неправильный или вы просто не понимаете, куда смотреть. А когда вы открываете модель, то можете свет менять как угодно, убрать фототекстуру»,* — поясняет руководитель проекта.



Банк данных станет настоящим кладом информации для отечественных исследователей, поскольку будет содержать большой объем характеристик: размеры, координаты и тип памятника, породу камня, технику изображения, датировку, стиль, сюжеты и многое другое. Этот ресурс будет иметь огромное значение для развития исследований, покажет взаимосвязь наскальных комплексов с археологическими памятниками. Кроме того, проект несет в себе и просветительскую функцию. Ученые отмечают, что сегодня широкая аудитория мало знает об этом красивом и интересном виде культурного наследия. Благодаря доступным и наглядным цифровым моделям с петроглифами могут познакомиться множество людей.

Георадар для древних памятников архитектуры

Важным этапом сохранения и реставрации культурных ценностей является неразрушающий контроль, с помощью которого исследователи изучают состояние и внутреннюю структуру объекта. Обычно реставраторы и культурологи используют рентгеновскую, инфракрасную и акустическую технику, однако она имеет ряд ограничений. В последние годы распространение получили радиолография и радиотомография — методы интроскопии, позволяющие изучать внутреннее строение объектов с помощью радиоволн.



Радиолокатор РАСКАН-5/4000. Источник: Лаборатория дистанционного зондирования

Сотрудники Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана создали новый класс аппаратуры, работающей по данной технологии, — георадары, или голографические подповерхностные радиолокаторы серии «Раскан». Приборы производятся серийно и поставляются как российским покупателям, так и за рубеж. За разработку радиолокаторов «Раскан» авторы получили премию Правительства РФ в области науки и техники.

За последние годы с помощью радиолокаторов «Раскан» были обследованы несколько объектов, обладающих высокой культурной и исторической ценностью. Приборы использовали в ходе реконструкции здания Сената в Санкт-Петербурге. Когда здание, построенное в начале XIX века, стали переоборудовать под Конституционный Суд, перед укладкой паркета потребовалось уточнить расположение труб системы водяного отопления, а также различных кабелей, покрытых цементной стяжкой. При помощи радара удалось определить точное размещение коммуникаций.

Старинные фрески и мозаика церкви Святого Биаджио в Тоскане, Италия



Лицевая часть иконы (слева) и радиолокационное изображение (справа). Источник: Сергей Ивашов

Еще одним проектом стало изучение старинной иконы с серебряным окладом: на радиолокационном изображении были обнаружены элементы, невидимые при визуальном осмотре. Кроме того, в Италии были обследованы старинные фрески и мозаика церкви Святого Биаджио в Тоскане и крест Святого Марко во Флоренции. В США радары использовались для диагностики старых деревянных зданий, чтобы обнаружить незаметные глазу места, поврежденные термитами.

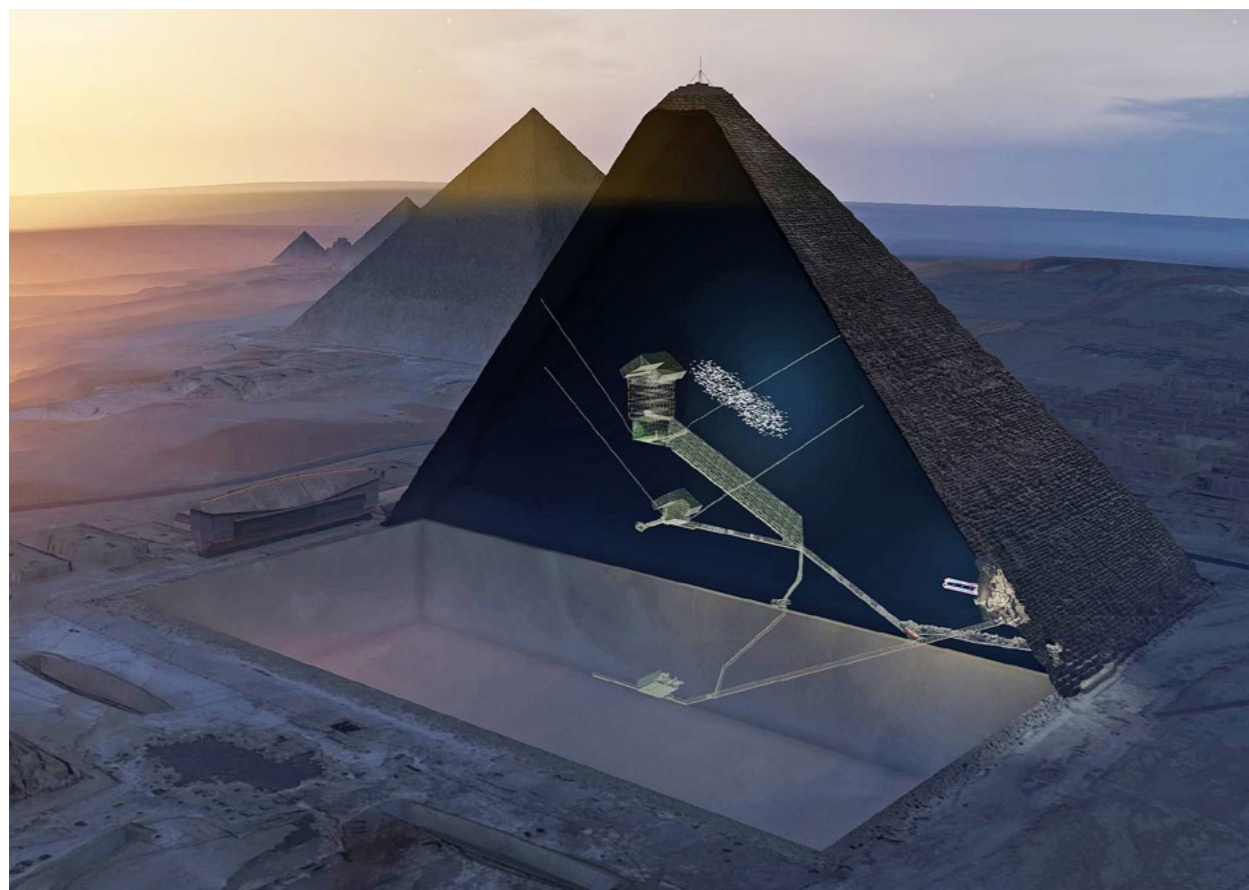
Сегодня группа ученых, возглавляемая кандидатом технических наук Сергеем Ивашовым, при грантовой поддержке РФ продолжает совершенствовать методы инновационной диагностики. Проект посвящен новому методу неразрушающего контроля, основанному на технологии голографического радиовидения с использованием широкополосного сигнала со ступенчатым переключением частоты. За два года будут созданы новые технологии обследования объектов сложной формы и неоднородной внутренней структуры, а также математические методы восстановления радиолограмм, зарегистрированных в неоднородных средах с потерями.

В рамках проекта с помощью электромагнитного излучения будут обследованы старинные здания, церкви, другие сооружения и произведения искусства. В настоящее время российские ученые в сотрудничестве с коллегами из других стран изучают пирамиду Хеопса в Гизе. Недавно в этом памятнике мировой культуры с помощью мюонных датчиков были открыты ранее неизвестные полости. Подтвердить научное открытие можно было бурением или проделыванием проходов, но такие процедуры запрещены законами Египта. Требовалось найти другой метод неразрушающего контроля, чтобы подтвердить

или опровергнуть находку, а также по возможности более точно определить местоположение полостей и их форму. Авторский коллектив ученых России, США, Италии и Японии предложил использовать для обследования масштабного сооружения излучение радиодиапазона. «Проанализировав электрофизические свойства пирамиды, включая уровень затухания, мы построили математическую модель, которая позволила оценить возможность обнаружения пустот в Великой пирамиде при ее просвечивании в радиодиапазоне с частотой 100 МГц», — рассказал руководитель лаборатории дистанционного зондирования МГТУ имени Н. Э. Баумана Сергей Ивашов, возглавивший международную группу.

Следующим шагом станет построение трехмерного изображения реальной пирамиды с учетом уже известных галерей и камер внутри нее, а также моделирование антенной системы. Это даст возможность протестировать математическую модель, разработать методы восстановления радиоголограмм и подготовиться к физическим экспериментам непосредственно на пирамиде. Ученые уверены, что полученные в ходе проекта результаты и разработанная аппаратура найдут широкое применение для реставрации отечественных архитектурных памятников. Уже сегодня ведущие учреждения культуры России проявляют интерес к имеющимся наработкам.

Пирамида Хеопса в Гизе.
Источник: www.scanpyramids.org



Руины церкви Благовещения на Городище
в Великом Новгороде

Фрески новгородских церквей

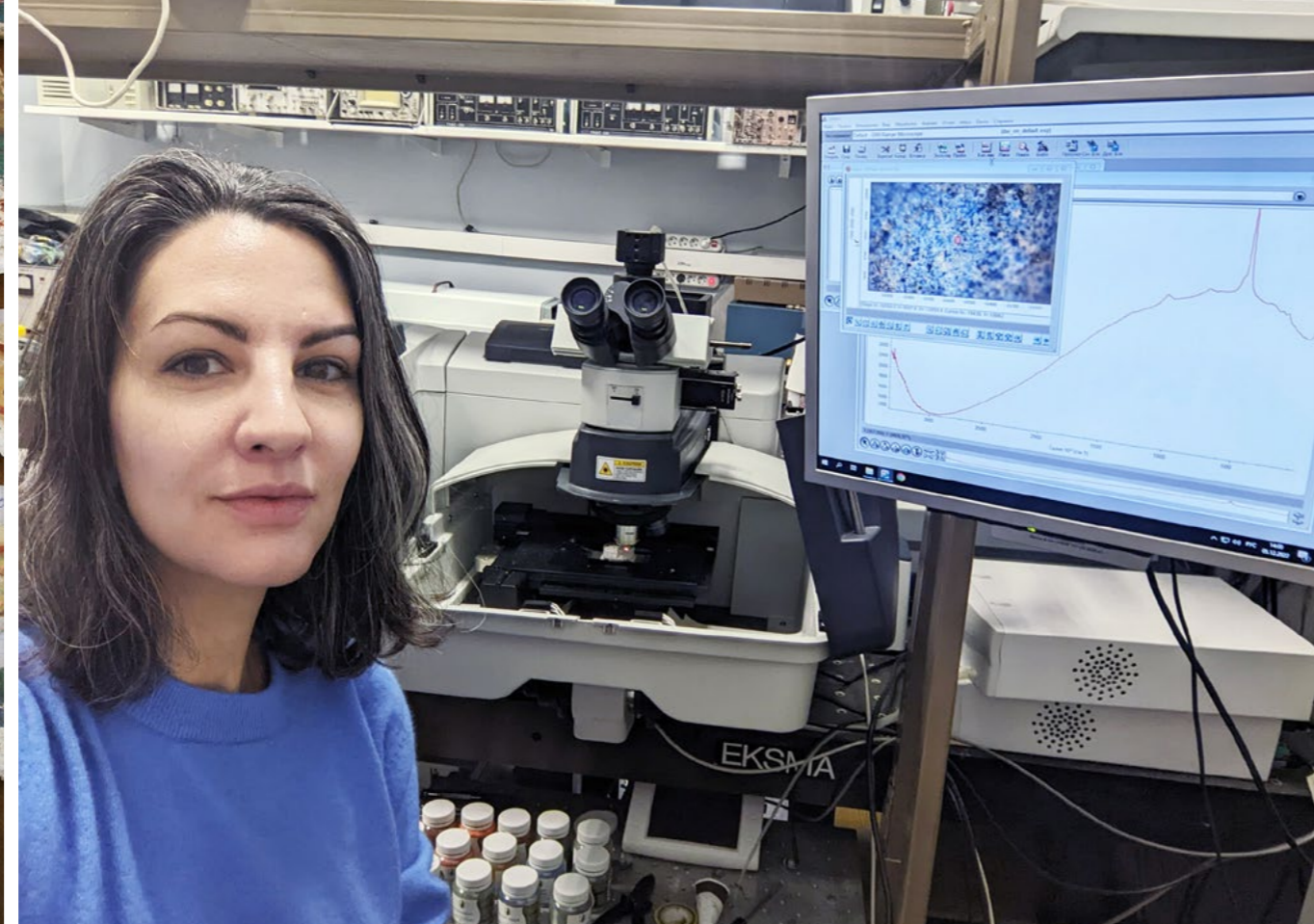
Великий Новгород, стоящий на истоке реки Волхов, — сокровищница памятников монументальной живописи, дошедших до нас сквозь столетия. Средневековое архитектурное наследие города входит в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО. По фресковым ансамблям ученые могут судить о целых эпохах в истории древнего русского искусства.

Для того чтобы лучше сохранить картины, иконы и фрески, ученые исследуют материалы, из которых они изготовлены, — пигменты, связующие среды, наполнители, волокна, металлы. Полученную информацию они используют при определении методов хранения и реставрации произведений искусства, а также их датировке и установлении авторства.

Создание и совершенствование приемов неразрушающей диагностики — интересная творческая работа на стыке физики и культурологии. Ведущую роль здесь играют спектроскопические методы, позволяющие проводить более глубокое изучение образцов

и определять основные компоненты в их составе. Исследования в этой области ведет группа сотрудников Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. При поддержке Российского научного фонда коллектив ученых под руководством кандидата физико-математических наук Ирины Балахниной изучает монументальную живопись Великого Новгорода XII–XIV веков.

СОЗДАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИЕМОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ ДИАГНОСТИКИ — ИНТЕРЕСНАЯ ТВОРЧЕСКАЯ РАБОТА НА СТЫКЕ ФИЗИКИ И КУЛЬТУРОЛОГИИ.



▲
Фрагменты фресок.
Источник: Ирина
Балахнина

▲
Руководитель проекта
Ирина Балахнина
в лаборатории лазерной
диагностики биомолекул
и методов фотоники
в исследовании объектов
культурного наследия

Основные задачи проекта — спектроскопическая диагностика фрагментов фресок, применение инновационных лазерных методов, а также создание единой базы данных исследованных образцов, включающей результаты спектроскопического и искусствоведческого анализа. В настоящее время в России лишь единицы проектов посвящены исследованиям фресок естественно-научными методами, и большинство работ по этой тематике принадлежат ученым европейских стран. В ходе проекта будут изучены фрески пяти церквей Великого Новгорода, в которых настенная живопись была частично или полностью разрушена. Ученые предполагают определить использованные авторами пигменты, грунты и штукатурный слой.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТА — СПЕКТРОСКОПИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ФРАГМЕНТОВ ФРЕСОК, ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ЛАЗЕРНЫХ МЕТОДОВ.

На первом этапе исследователи провели диагностику живописи церквей XII века — Благовещения на Городище и неизвестного разрушенного храма, чьи фрагменты фресок были подняты со дна реки Волхов. Проанализировав состав красочного слоя, ученые узнали интересные факты о новгородцах, населявших средневековый город.

«Использование дорогостоящего синего пигмента лазурита практически без примесей в церкви Благовещения на Городище подтверждает, что ее роспись была важным событием, а заказчик был хорошо обеспечен, — рассказывает Ирина Балахнина. — Вероятно, заказчики росписи неизвестной разрушенной церкви, фрагменты которой были найдены на речном дне, были менее обеспечены, так как, несмотря на большое количество синих фрагментов росписи, ни на одном из них не было обнаружено значительное количество дорогого лазурита».

Кроме того, специалисты выберут характерные образцы фрагментов фресок, к которым будет применена авторская методика исследования, основанная на эффекте лазерной абляции*. Оригинальная технология позволяет провести высокоточный отбор проб таким образом, чтобы разрушающее воздействие на фреску было минимальным. Полученные пробы можно будет использовать для дальнейшего анализа альтернативными способами. Методика принципиально отличается от существующего метода спектроскопии оптического пробоя и дает возможность получить уникальную информацию о составе исследуемых образцов.

За три года проекта авторский коллектив создаст электронную базу, содержащую информацию об образцах монументальной живописи Новгорода. Впоследствии ресурс пополнится сведениями о фресках церквей и храмов, расположенных в других городах. Банк данных будет полезен не только реставраторам и музейным работникам, но и представителям технических наук для идентификации широкого круга веществ. Результаты, полученные в ходе работы, позволят эффективно восстанавливать росписи в храмах по всей России.

Диагностика и сохранение памятников культурного наследия в последние десятилетия стали неотъемлемой частью научно-исследовательской деятельности российских и зарубежных ученых. Этому направлению посвящены десятки международных конференций, сотни докладов на научных съездах. Разработка новых цифровых форматов для хранения и визуализации электронных версий источников — это новый этап комплексного изучения культурного наследия, важный шаг к международным проектам сохранения историко-культурного наследия как общечеловеческого достояния.

* Лазерная абляция, от англ. *ablation* — «удаление, иссечение». Метод удаления вещества с поверхности лазерным импульсом.

Использованные материалы

1. Сергей Обрывалин: Россия открыта к конструктивному диалогу о сохранении мирового культурного наследия // www.unesco.ru
2. Зов пустоты. Ученые подобрали ключ к тайне пирамиды Хеопса // www.poisknews.ru
3. Бауманцы исследуют пирамиды // api.www.bmstu.ru
4. Е. Романенко, Ю. Свойский. Трехмерные модели как инструмент исследования эпиграфического памятника // www.hist.hse.ru
5. И. Балахнина. Оптическая спектроскопия, оптоакустическое исследование и лазерная абляция естественно состарившихся бумаг и красок // www.dissercat.com
6. Лаборатория RSSDA // www.rssda.su
7. Чудом сохраненные. Как выживает палеоискусство под открытым небом Заполярья // «Троицкий вариант» № 18, 2021 г.
8. Петроглифы Нижнего Амура и Уссури // www.aurockart.ru
9. Историко-культурное наследие и информационно-коммуникационные технологии: сохранение и исследование. Материалы научной конференции // window.edu.ru



**Российский
научный фонд**

Для иллюстрации статей использованы фотографии пресс-службы РНФ, авторов исследований и изображения из открытых источников.