

## В Политехе создали оптическую систему, которая одновременно видит ткань и измеряет её свойства

Учёные Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого создали и испытали мультисенсорную платформу на основе спектральной интерферометрии. Волоконный микрозонд толщиной с человеческий волос одновременно строит изображение внутренней структуры мягкой ткани и измеряет её упругость, температуру, показатель преломления и давление, которое сам оказывает на ткань. Несколько таких зондов удалось опрашивать одним оптоэлектронным модулем. Это позволяет получать объёмную картину, не перемещая зонд механически. Исследование [поддержано](#) Российским научным фондом.



Врачу-эндоскописту сегодня приходится выбирать между приборами: один строит изображение, другой измеряет физические параметры ткани. Между тем, именно сочетание морфологической картины с числами — насколько ткань плотная, насколько тёплая, какова её оптическая плотность — критично при диагностике новообразований и сосудистых бляшек, а также во время эндоскопических операций. Использование нескольких инструментов снижает надёжность измерений и может увеличивать травматичность процедуры. Петербургские учёные предложили свести все

эти функции в одно оптическое волокно.

В основе платформы лежит оптическая когерентная томография (ОКТ) — метод, который позволяет заглянуть под поверхность ткани на глубину в несколько миллиметров и различить детали размером в единицы микрометров.

Оптическая когерентная томография — это оптический аналог УЗИ: вместо звука в ней используется инфракрасный свет, а глубину, на которой произошло отражение, мы определяем, измеряя отражённый спектр излучения. Глубина обзора меньше, чем у ультразвука, несколько миллиметров, зато различимы детали размером в несколько микрометров. Для доставки инфракрасного света к исследуемой ткани используется оптическое волокно толщиной около человеческого волоса. В этом же волокне мы разместили датчики температуры, давления и показателя преломления, что позволит лучше различать больные и здоровые ткани, — рассказывает руководитель проекта, профессор Высшей школы прикладной физики и космических технологий СПбПУ Николай Ушаков.

Второй ключевой результат — мультиплексирование. Учёные научились опрашивать несколько зондов одним оптоэлектронным модулем и обрабатывать их сигналы совместно, применяя подходы, известные из техники фазированных антенных решёток. После регистрации сигналов можно программно выбрать область пространства, из которой формируется изображение, и получить более детальную картину, чем даёт одиночный зонд. Так без единого механического движения строится трёхмерное распределение параметров ткани.

Достигнутые характеристики измеряются в микрометрах и долях градуса. Система различает неоднородности с поперечным размером 20 мкм и продольным около 7 мкм. Погрешность измерения показателя преломления составила до  $2 \cdot 10^{-5}$ , температуры — 0,15 °С, силы — около 1 нН. Разрешающая способность по давлению в отдельном волоконно-оптическом датчике на основе микросферы достигла 0,001 Па. Такая чувствительность позволяет фиксировать слабые отклонения механических свойств ткани от нормы, это позволяет замечать изменения на самой ранней стадии.

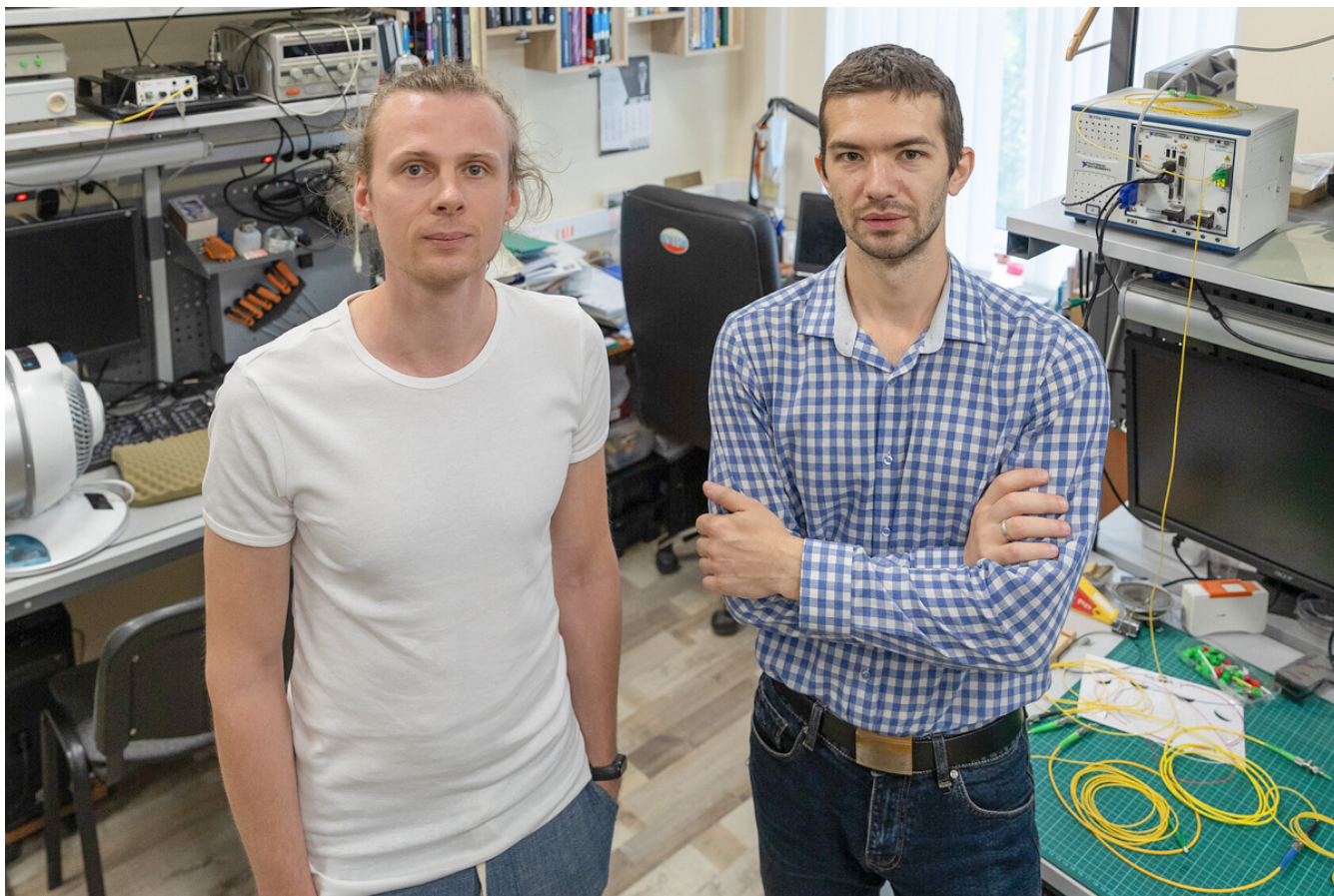
Испытания проводили на искусственных моделях биологических тканей из желатина и альбумина с добавлением рассеивающих микрочастиц, имитирующих стенку пищевода, дыхательных путей и кожные покровы. На них отработали получение структурных изображений, измерение упругих свойств и оценку скорости диффузии жидких агентов через образец. Последнее открывает путь к контролю доставки лекарств: комбинируя ОКТ с волоконным датчиком показателя преломления, исследователи смогли одновременно отслеживать проникновение в образец воды и глицерина.

У платформы есть и вторая, небιологическая область применения — метрология в оптической и полупроводниковой промышленности. Учёные продемонстрировали измерение толщины тонких плёнок (менее 1 мкм)



с точностью в несколько нанометров и визуализацию сердцевины оптического волокна с разрешением лучше 1 мкм. Это востребовано при неразрушающем контроле полупроводниковых пластин, волоконных компонентов и сварных соединений.

Сама ОКТ — достаточно зрелая технология, она развивается с начала 1990-х годов, и уже более десяти лет активно развивается эндоскопическая ОКТ. К сожалению, на данный момент в России отсутствует выпуск ОКТ-систем, все проводимые медицинским сообществом исследования выполняются на западных приборах. Основная новизна нашего проекта состоит в интеграции ОКТ-зондов с волоконно-оптическими датчиками и в возможности одновременно регистрировать сигналы нескольких зондов при помощи одного устройства без существенной модификации аппаратной части. Прототип собран из стандартных телекоммуникационных компонентов с использованием обычной волоконной сварки, поэтому он воспроизводим в любой волоконно-оптической лаборатории страны и будет достаточно прост в производстве, — отмечает Николай Ушаков.



Дополнительно коллектив предложил метод подавления сигналов от паразитных переотражений света внутри исследуемого объекта — с применением квантово-вдохновлённой интерферометрии второго порядка. Для этого потребовалось сформировать излучение с особой, тепловой статистикой фотонов, причём способом, легко совместимым с обычными одномодовыми волокнами. В ближайших планах у учёных переход

к полностью бесконтактной оптической когерентной эластографии, когда акустическую волну в объекте возбуждает последовательность коротких лазерных импульсов, улучшение разрешения по глубине до 1–2 мкм за счёт регистрации сигнала в двух спектральных окнах, а также создание зонда на многосердцевинном волокне с электронным управлением лучом — сканирование без движущихся частей. Отдельная задача, которую ставит перед собой коллектив, — добиться того, чтобы в России появились серийно выпускаемые системы оптической когерентной томографии.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-72-10095 (2023–2026 годы) в рамках Президентской программы исследовательских проектов. Работы будут продолжены в рамках продления проекта на 2026–2028 годы. В проекте участвуют доценты А. А. Маркварт и А. В. Петров, профессор Л. Б. Лиокумович, аспиранты Л. Д. Завалишина и У. А. Макаренко. Результаты опубликованы в «Оптическом журнале», журналах «Приборы и техника эксперимента», «Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки», а также в трудах SPIE и конференции EExPolytech.

Дата публикации: 2026.08.17

[>>Перейти к новости](#)

[>>Перейти ко всем новостям](#)