

Ноябрь 2024

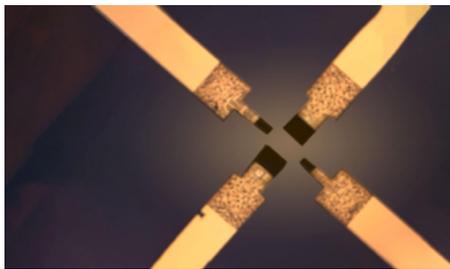
Наш дайджест расскажет о ключевых достижениях ученых и инженеров в области новых материалов, которые непременно повлияют на нашу жизнь.

В ноябрьском обзоре вы узнаете о магнитных наночастицах, эффективно очищающих воду от микропластика, живом пластике, созданном с помощью бактерий, и об использовании оксида индия для диагностики рака лёгких по выдыхаемому воздуху.

Подробнее об этих и других достижениях читайте ниже

- 02 [ Нанотрубка с белком поменяла проводимость под действием света  
Металл-органические каркасные структуры помогли очистить воздух от паров бензола
- 03 [ В Сколтехе раскрыли секрет стабильности литий-ионных батарей  
Оксид графена и хитозан помогли добыть золото из электронных отходов
- 04 [ В ИТМО создали светящиеся полимерные наночастицы  
Оксид индия помог определить рак легких по выдоху
- 05 [ Танделы «кремний — перовскит» напечатали на 3D-принтере  
Российские химики стабилизировали перовскиты для использования в космосе
- 06 [ Катализаторы из меди и кобальта превратили углекислый газ в этанол  
Микропластик превратили в авиационное топливо с выходом 97%
- 07 [ На Урале научились добывать золото из сырья двойной упорности  
Магнитные наночастицы очистили воду от микропластика
- 08 [ Из бактерий сделали живой пластик  
Китайские материаловеды сделали стабильное антиобледенительное покрытие
- 09 [ Полимерное покрытие предотвратит образование тромбов  
В Перми разработали новую технологию бездефектной печати металлами
- 10 [ Нанотрубки и машинное обучение помогут найти дефекты в крыле самолета  
Вышитый биосенсор проследит за здоровьем пилотов
- 11 [ Микроробота в виде штопора научат двигаться по сосудам  
Корейские ученые сделали самозаживляющуюся электронную кожу
- 12 [ Российские ученые получили наночастицы оксида церия для лечения ран

## Нанотрубка с белком поменяла проводимость под действием света



Некоторые вещества и материалы могут менять свои электронные свойства под действием света. Такие свойства востребованы, например, в системах беспроводной связи и искусственного зрения. Также недавно мы рассказывали вам о пер-

спективном материале для глазных протезов: мемристоре, которым можно управлять с помощью света.

Ученые под руководством Ивана Бобринецкого из Московского института электронной техники разработали устройство на основе углеродной нанотрубки и светящегося белка, которое меняет проводимость в зависимости от длины волны падающего света. Результаты их исследования опубликованы в журнале *Advanced Electronic Materials*.

Красный флуоресцентный белок соединили с углеродной нанотрубкой, а затем облучили светом с разной длиной волны — то есть разного цвета — и измерили, как меняется проводимость. При облучении желтым и фиолетовым светом проводимость снижалась, а под влиянием остального видимого диапазона увеличива-

лась. Такой эффект Иван Бобринецкий и его коллеги объяснили тем, что желтый и фиолетовый свет поглощаются флуоресцентным белком.

Так, ученые синтезировали прототип устройства, которое может воспринимать свет различных длин волн и реагировать на облучение положительно или отрицательно. При этом оба материала — углеродная нанотрубка, и белок — нетоксичны, безопасны и относительно дешевы.

Авторы предполагают, что их разработку можно будет использовать для создания светоизлучающих диодов и транзисторов, а в дальнейшем — и для более сложных устройств хранения и передачи информации.

## Металл-органические каркасные структуры помогли очистить воздух от паров бензола



В воздухе современного мегаполиса становится все больше вредных для здоровья веществ. Но на помощь горожанам спешат ученые с новыми материалами и устройствами для очистки воздуха. Ранее

мы писали о том, как ковалентные каркасные структуры поглощают углекислый газ. Сегодня расскажем об очистке воздуха от бензола — промышленного растворителя, который часто используется при производстве полимеров и искусственных тканей. Бензол признан канцерогеном — веществом, провоцирующим возникновение и рост злокачественных опухолей. Даже его небольшие количества в воздухе могут быть опасны для здоровья человека.

Изготовить материал, который очищает воздух от паров бензола сумели британские химики под руководством Мартина Шредера из Университета Манчестера. Результаты исследования опубликованы в журнале *Nature Materials*.

Авторы синтезировали пористый металл-органический каркас на основе ионов титана, связанных молекулами карбоновых кислот. Затем в поры добавили частицы

металла, который должен был связываться с бензолом. Всего ученые опробовали шесть металлов, и наилучшие результаты получились с цинком. Металл органический каркас с цинком впитывал до 7,63 миллимоль на грамм материала. Это больше, чем у всех известных ранее материалов.

Кроме того, эффективность поглощения бензола не зависела от влажности воздуха. Одна из главных проблем при использовании пористых материалов такого типа — быстрое заполнение пор водой. В таком случае материал постепенно теряет активность и перестает поглощать нужное вещество. Однако каркасный материал, полученный британскими химиками, селективно поглощал именно бензол.

Шредер и его коллеги рассчитывают, что новый материал можно будет использовать в системах очистки воздуха в частных домах и на промышленных предприятиях.

## В Сколтехе раскрыли секрет стабильности литий-ионных батарей



Сорок лет назад, когда ученые и инженеры только начинали разрабатывать литий-ионные батареи, одной из главных проблем была коррозия графитового анода. «Слабым звеном» в этой цепи оказались электролиты на основе пропиленкарбоната. Они хорошо взаимодействовали с ме-

таллическим литием, но были чрезвычайно агрессивными по отношению к графиту.

Однако, проблема внезапно решилась, когда пропиленкарбонат заменили на этиленкарбонат. С точки зрения химии эти два вещества очень похожи (цепь этиленкарбоната всего лишь на один атом углерода короче), но этиленкарбонат коррозию графита не вызывал. И вообще, литий-ионные аккумуляторы на нем работали гораздо стабильнее. Правда, ученые долго не понимали, почему.

Ответ на этот вопрос нашли материаловец-ды из Сколтеха под руководством Сергея Лучкина. Соответствующая статья опубликована в журнале *Journal of Materials Chemistry A*.

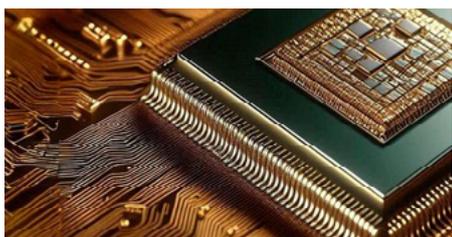
Ученые предположили, что этиленкарбонат быстро формирует на поверхности

графитового анода тонкий вязкий слой. Этот слой надежно предохраняет графит от дальнейшей коррозии.

Последующие эксперименты подтвердили, что такое вязкое покрытие действительно образуется в электролитах именно при использовании этиленкарбоната. В дальнейшем слой не только защищает анод, так и замедляет электрохимические реакции в электролите, обеспечивая более стабильную работу аккумулятора.

Авторы надеются, что полученные результаты помогут в будущем найти и другие эффективные и безопасные электролиты.

## Оксид графена и хитозан помогли добыть золото из электронных отходов



Каждый год на свалки выбрасывают больше 50 миллионов тонн электронных отходов, из которых в природу попадают металлы, электролиты и пластик. Но если старые аккумуляторы и микросхемы переработать правильно, из них можно получить ценные

металлы. Нужно только знать, как их выделить. Мы уже говорили о том, как можно получить литий из старых аккумуляторов. Сегодня мы расскажем, как можно получить золото.

Эффективный способ получения золота из электронных отходов нашли китайские, сингапурские и британские химики под руководством Дарьи Андреевой из Национального Университета Сингапура. Соответствующая статья вышла в журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

Ученые использовали пористый материал из оксида графена и природного полимера хитозана. Оба этих материала уже зарекомендовали себя в извлечении металлов из электронных отходов: оксид графена имеет пористую структуру и хорошо поглощает

металлы, а хитозан является восстановителем, то есть помогает металлам переходить из состояния ионов в незаряженное состояние. Но Дарья Андреева и ее коллеги впервые соединили два материала вместе. Сначала они получили хлопья графена, а затем нанесли сверху хитозан, позволив ему самоорганизоваться вокруг графена.

Получился материал, который поглощает золото из раствора и тут же восстанавливает его. Оптимизировав условия, ученые сумели извлечь до 17 граммов золота на грамм сорбента — это почти в десять раз больше, чем получалось с другими материалами ранее.

Если ученые адаптируют свой материал для промышленного получения, процесс регенерации золота может существенно упроститься.

## В ИТМО создали светящиеся полимерные наночастицы



Существуют материалы, которые поглощая света сами начинают светиться. Частицы из таких материалов используют в специальных устройствах, в том числе и в биосенсорах. Наблюдая за их свечением, можно в реальном времени отслеживать попадание лекарства в нужное место в организме и даже выявлять опухоли.

Камилла Курасова из ИТМО вместе с российскими и британскими коллегами разработала метод получения люминесцентных полимерных микрочастиц с квантовыми точками — полупроводниковыми нанокристаллами, которые проводят ток под воздействием света или температуры.

Специально для изготовления таких частиц ученые собрали систему пересекающихся микроканалов, которая позволяет манипулировать малыми объемами жидкостей. Это устройство позволило получить полимерные микросферы с квантовыми точками, размером от 55 до 95 микрометров, что сопоставимо с толщиной человеческого волоса. Авторы работали с нанокристаллами на основе серебра, индия и серы, но системе можно адаптировать и под квантовые точки с другим химическим составом.

Новый подход позволил получить ярко светящиеся микрочастицы, устойчивые к лазерному излучению. Ученые заметили,

что у квантовых точек, упакованных в полимерные микросферы, время затухания люминесценции сократилось до 3,5 наносекунд. Такое быстрое затухание позволяет точнее отслеживать процессы в организме: чем меньше времени квантовая точка проводит в возбужденном состоянии, тем меньше она взаимодействует с окружающей средой, и тем меньше размывается ее сигнал.

Кроме того, быстро затухающие микрочастицы дольше не выцветают под воздействием лазерного излучения и менее токсичны, чем традиционные органические красители. Это позволит использовать их для визуализации сосудов и доставки лекарств и ферментов.

В настоящее время Камила Курасова и ее коллеги изучают токсичность наночастиц в экспериментах с животными, и надеются уже скоро перейти к первым испытаниям на добровольцах.

## Оксид индия помог определить рак легких по выдоху



Что содержится в воздухе, который мы выдыхаем? Главными компонентами у всех людей будут углекислый газ, азот и вода. А вот по примесям других веществ можно многое понять о здоровье человека. Например, у больных раком легких в выдохе уменьшается количества изопрена

— легкокипящего углеводорода с двумя двойными связями.

Однако концентрация изопрена и у здоровых людей незначительна — менее сотни миллиардных долей. Чтобы распознать изменения его концентрации в смеси с другими газами, нужен очень чувствительный сенсор.

Такой сенсор разработали китайские и испанские химики под руководством Цинъюэ Ван из Чжэцзянского университета. За основу ученые взяли частицы оксида индия, добавили к нему никель, а сверху нанесли металлическую платину. Двойные связи молекулы изопрена координируются на атоме платины, а проследить за этим можно с помощью метода рамановской спектроскопии. По изменению сигнала Ван и его коллеги смогли не только сделать вывод о присутствии изопрена в смеси,

но и определить его точное количество. Добавка никеля помогает предохранять сенсор от водяного пара и сохранять чувствительность в течение долгого времени. Статья с результатами исследования вышла в журнале *ACS Sensors*.

Ученые протестировали устройство на тринадцати добровольцах, пятеро из которых были больны раком легких на разных стадиях. Сенсор сумел отличить пятерых больных людей с концентрацией изопрена менее 40 миллиардных долей от здоровых с концентрацией 60 миллиардных долей и выше.

Ван и его коллеги надеются, что их изобретение поможет выявлять рак легких на ранних стадиях и своевременно приступать к лечению.

## Тандемы «кремний — перовскит» напечатали на 3D-принтере



Чтобы эффективнее получать электричество от солнца, ученые разрабатывают тандемные — или попросту двухслойные — солнечные элементы. Материалы подбирают так, чтобы сверху поглощались самые «горячие» с высокой энергией фотоны, а фотоны с меньшей энергией проходили

в нижний слой и поглощались уже там. В результате удается поглотить все части солнечного излучения и получить максимальное количество электроэнергии.

Лучшую эффективность, до 34,6 процента, демонстрируют тандемы, в которых верхняя часть сделана из перовскита, а нижняя из кремния. Правда, перовскитную часть для таких элементов изготавливают в лабораторных условиях с помощью сложного оборудования. К тому же процесс получения занимает много времени. Сейчас ученые ищут более простые способы получения таких тандемов, чтобы технология стала коммерческой.

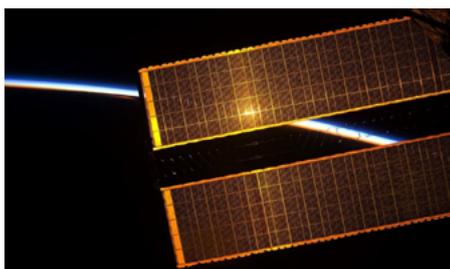
Ученые из Германии и Саудовской Аравии под руководством Стефана де Вольфа из Научно-технологического университета имени короля Абдаллы научились печатать

перовскитный слой на 3D-принтере. Статья с результатами исследования опубликована в журнале *Joule*.

Авторы сначала напыляли на верхнюю часть кремниевой ячейки очень тонкий слой перовскита — толщиной всего в несколько атомов. Это помогло пассивировать поверхность кремния и сделать ее более гладкой. После этого весь оставшийся перовскит быстро наносили с помощью 3D-принтера с лезвием (технология *blade coating*). Благодаря гладкой и стабильной подложке перовскитный слой получался бездефектным.

Полученные тандемы показали эффективность в 31,2 процента. Это пока меньше, чем у лабораторных элементов-рекордсменов, но больше, чем у всех элементов, полученных с помощью 3D-принтера.

## Российские химики стабилизировали перовскиты для использования в космосе



Солнечные батареи на основе кремния и арсенида галлия давно и успешно используются на космических станциях. Но можно ли использовать в космосе

перовскиты и перовскитные тандемы?

В стабильности перовскит пока что заметно уступает своим конкурентам. В то же время условия эксплуатации в космосе отличаются от земных. В чем-то они мягче — например, нет кислорода и воды. В чем-то жестче: перепады температур сильнее, интенсивность излучения выше, в том числе много ультрафиолета, а также самого высокоэнергетического гамма-излучения.

Над стабилизацией перовскитов для использования в космосе работает в том числе Павел Трошин из Института проблем химической физики РАН в Черноголовке вместе с российскими и китайскими коллегами.

Ученые облучали перовскитные пленки гамма-лучами, потоком электронов

и ультрафиолетом и следили за тем, как при этом меняется структура материала. Выяснилось, что под действием гамма-лучей кристаллическая решетка перовскита быстро теряет свинец, который выделялся в виде отдельной фазы металла. Но если заменить всего 1% свинца на диспрозий, потери свинца прекращаются. Также добавка диспрозия сделала перовскиты стабильнее к облучению электронами. При этом остальные свойства перовскита — поглощение, количество дефектов — не менялись.

Результаты исследования, опубликованные в журнале *Chemical Engineering Journal*, будут полезны разработчикам космических перовскитных солнечных элементов.

## Катализаторы из меди и кобальта превратили углекислый газ в этанол



Мы уже рассказывали, как ученые придумывают разные способы захвата углекислого газа из атмосферы. Это нужно для борьбы с парниковым эффектом —

нагреванием нашей планеты из-за изменения состава атмосферы.

Но недостаточно просто захватить углекислый газ — нужно еще придумать, что с ним делать дальше. В идеале — превратить его в какое-то полезное вещество или материал. Тогда весь процесс станет не только полезным для экологии, но и экономически выгодным.

Например, немецкие химики под руководством Карстена Штреба из Университета Майнца получили из углекислого газа этанол — химическое сырье для пищевой, химической и фармакологической промышленности. Соответствующая научная статья вышла в журнале *ACS Catalysis*.

Авторы выяснили, что для эффективно-

го получения этанола лучше всего подходит катализатор из двух металлов — кобальта и меди. Кобальт нужен на первой стадии — для разрыва связи «углерод — кислород» и превращения углекислого газа в угарный газ. Медь вступает в игру на второй стадии, чтобы соединить две молекулы угарного газа в одну молекулу этанола.

Ученым удалось превратить в этанол 80% углекислого газа. На первый взгляд, это значение выглядит не слишком впечатляющее, но это наибольший выход, которого пока что удавалось достичь в реакциях такого типа. Впрочем, авторы предполагают, что это еще не предел и после оптимизации состава катализатора выход можно будет повысить до 90%.

## Микропластик превратили в авиационное топливо с выходом 97%



Апсайклинг, или превращение отходов в ценные химические вещества и материалы, можно назвать одним из главных

трендов современного материаловедения.

Американские химики под руководством Маниша Шетти из Университета Техаса научились превращать микропластик в ксилол. Результаты исследования опубликованы в журнале *Angewandte Chemie International Edition*.

Ученые работали с микрочастицами полиэтилентерефталата (материала для пластиковых бутылок). Получить ксилол из такого сырья можно в две стадии: сначала полимерную цепь разрезают на короткие фрагменты диметилтерефталата, а затем восстанавливают до ксилола.

В качестве восстановителя авторы использовали метанол, а чтобы провести реак-

цию максимально эффективно, добавляли разные катализаторы. Лучшим оказался катализатор на основе наночастиц оксида циркония с добавками цинка, на который сверху нанесли медь. Шетти и его коллеги получили 97-процентный выход ксилола, в том числе 100-процентный выход на второй стадии восстановления диметилтерефталата.

Полученный ксилол — важный компонент авиационного топлива, также его можно использовать в качестве сырья для химической и фармацевтической промышленности.

## На Урале научились добывать золото из сырья двойной упорности



Значительную часть запасов золота в мире составляют так называемые упорные руды. Золото в них находится не в форме самородков или песка, а в виде тонких вкра-

плений в минерале. Кроме того, в составе руды есть соединения, затрудняющие извлечение золота. Например, органический природный углерод может поглощать растворенные комплексы золота из раствора. Получать золото из таких руд либо экономически невыгодно, либо и вовсе невозможно.

Проблему сумели решить российские химики под руководством Дениса Рожникова из Уральского федерального университета. О разработанной учеными технологии добычи золота из упорных руд рассказал портал «Наука.рф» со ссылкой на пресс-службу вуза.

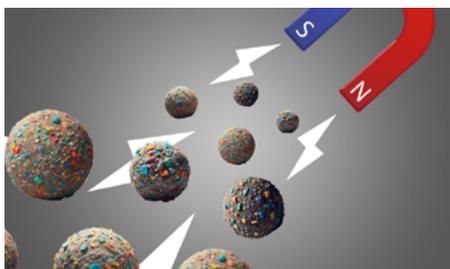
Сначала ученые обрабатывали углистый золотосодержащий концентрат поверхностно-активными веществами, а затем

нагревали смесь до температуры 85 °С и добавляли азотную кислоту. Это позволило деактивировать соединения углерода, которые мешают растворять золото. Подобрать оптимальные параметры, химики сумели извлечь из руды более 90% ценного металла.

Новая технология проста и дешева, а также не приводит к образованию токсичных побочных продуктов — мышьяка, серы, ртути, которые нередко образуются при использовании известных технологий.

Разработчики технологии уже запатентовали ее и намереваются внедрить на «Навоийском горно-металлургическом комбинате» в Республике Узбекистан.

## Магнитные наночастицы очистили воду от микропластика



Загрязнение микропластиком распространяется по нашей планете стремительно. Миниатюрные пластиковые частицы уже

находили на вершине Эвереста, на дне океана, в человеческой плаценте и даже в мозге.

Для очистки воды от микропластика ученые постоянно ищут новые подходы, отдавая предпочтение простым и дешевым. Например, бразильские химики под руководством Энрике Тома из Университета Сан-Паулу научились удалять микропластик с помощью частиц магнетита. Результаты их исследования опубликованы в журнале *Micron*.

Они изготовили наночастицы магнетита и упаковали их в клейкую оболочку из полидофамина. Если опустить такие частицы в воду и хорошо перемешать, микропла-

стик приклеивается к полидофамину. После этого достаточно провести магнитом вдоль емкости с водой, и магнитные наночастицы с прилипшим к ним микропластиком притянутся к нему, а вода станет чистой.

Метод оказался эффективным и против нанопластика — самых мелких частиц, менее одного микрометра, которые даже в оптический микроскоп не всегда удается увидеть.

В дальнейшем Энрике Тома и его коллеги хотят научиться регенерировать выделенный микропластик, чтобы сделать свой процесс экономически рентабельным.

## Из бактерий сделали живой пластик



Проблему пластикового загрязнения ученые пытаются решить с разных сторон. Одни группы ищут способы очистки воды, другие — синтезируют биоразлагаемые альтернативы традиционным пластиковым материалам. Обычно за основу берут целлюлозу или другой природный полимер.

Американские материаловеды под руководством Нила Йоши из Северо-Западного

университета пошли дальше и изготовили аналог пластика из живых бактерий. Соответствующая научная статья вышла в журнале *Nature Communications*.

Сделать бактериальный пластик несложно. Достаточно модифицировать геном бактерии, заставив ее производить больше эластичных волокон, а затем обработать бактериальную пленку глицерином. Такая пленка становится гибкой и в то же время прочной — ее можно отделить от подложки, не повредив.

По прочности бактериальный пластик не уступает традиционным аналогам, а по эластичности даже превосходит их. Меняя количество эластичных волокон, можно управлять свойством материала: сделать его более эластичным и тянущимся или, наоборот, более жестким. Кроме того, бактериальный пластик может самозаживляться. Так как бактерии остаются живыми,

то небольшие повреждения в материале быстро затягиваются сами собой. В то же время в почве и воде материал полностью распадается за 15–75 дней (в зависимости от температуры и влажности).

Конечно, эта работа — только первый шаг на пути к бактериальному пластику. Прежде чем такие материалы окажутся на полках магазинов, им предстоит пройти еще множество проверок на безопасность и стабильность. Однако, возможно, именно такие материалы действительно смогут заменить традиционный пластик и остановить микропластиковое загрязнение.

В дальнейшем авторы работы планируют улучшить термостойкость своего бактериального пластика. Также они работают над масштабированием производства материала, в том числе пробуют культивировать бактерии на целлюлозе, полученной из сельскохозяйственных отходов.

## Китайские материаловеды сделали стабильное антиобледенительное покрытие



Обледенение приносит человечеству множество проблем — от обрывов проводов до крупных аварий в холодное время года. Ученые уже давно ищут покрытия, которые не обрастали бы ледяной коркой или могли бы сами очищаться от нее. Но чаще всего такой эффект оказывается недолговечным.

Под действием холода, влажности и трения способность материала защищаться от льда идет на убыль.

Получить стабильные антиобледенительные покрытия сумели китайские материаловеды под руководством Цзюнь Пин Чжана из Университета Китайской академии наук. Результаты их исследования опубликованы в журнале *Nature Communications*.

Ученые сделали водоотталкивающий материал, текстурированный на трех уровнях. Сначала они нанесли клейкий слой полимерных частиц, а на него — наностержни с добавками металлоорганических каркасных структур. Сложный рельеф поверхности отталкивает воду, не давая ей закрепиться в виде ледяной корки. В случае, если лед все же образовался, может помочь фототермический эффект от металлоорганических каркасных структур. Эти материалы очень быстро нагреваются под солнцем и растапливают лед даже без использования внешнего источника энергии.

Трехуровневое покрытие стабильнее, чем однослойное, — более мелкие текстуры в нем «спрятаны» в рельефе более крупных и меньше повреждаются при трении. Для нагревания под солнцем такое сложное текстурирование тоже выгодно — в этом случае свет, который отразился от одного склона, может поглотиться на соседнем, и нагревание происходит быстрее.

Тестирования показали, что новый материал не покрывается льдом за 150 минут во влажном морозном воздухе, а при образовании ледяной корки сам растапливает и стягивает ее в среднем за 12 минут. Свойства не менялись после 300 циклов замерзания и таяния. Также материал выдерживает охлаждение до  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Отмечается, что покрытие легко изготавливать и его можно будет быстро внедрить в производственные цепочки.

## Полимерное покрытие предотвратит образование тромбов



Кровь человека — сложная многокомпонентная система, состоящая из разнообразных белков, клеток и вспомогательных веществ. У здорового человека кровь имеет способность к коагуляции — если сосуд поврежден, тромбоциты формируют тромб и останавливают кровотечение. В то же время важно, чтобы коагуляция не происходила без причины — то есть сосуды не закупоривались тромбами.

Когда в это равновесие вмешиваются сторонние материалы — например, кровь берут на анализ и помещают в стеклянный или пластиковый сосуд, — все становится еще сложнее. Вблизи полимерных и стеклянных поверхностей возможна контактная коагуляция, и кровь сворачивается быстрее. Это затрудняет проведение анализов и хранение донорской крови. Но еще опаснее, если кровь начинает сворачиваться в сосудах человека, которому, например, вставили полимерный сердечный клапан или часть сосуда.

Канадские и китайские биохимики под руководством Вэй Фэн Чжао из Сычуаньского университета подошли к проблеме с другой стороны и разработали полимерный материал, который препятствует образованию тромбов.

При сравнении скорости свертывания крови вблизи разных поверхностей оказалось, что меньше всего тромбов образуется у поверхностей, которые имеют частичный

положительный заряд. Но большинство таких поверхностей не подходило из-за того, что положительный заряд связывался с аминокруппами белков. Возникали нежелательные иммунные реакции и даже гибель клеток.

Проблему решили, скрыв положительный заряд под слоем незаряженного полиэтиленгликоля. Это нейтральный и биосовместимый полимер, который часто используется в медицине и уже показывал себя как хороший антикоагулянт.

Новый материал уже испытали в сосудах с донорской кровью. Также из него изготовили шунты (часть сосуда), которые вставили живым кроликам. В обоих случаях избыточной коагуляции не происходило, и материалы показали себя биосовместимыми и нетоксичными. Это позволит уже в ближайшее время провести первые испытания на добровольцах. Результаты исследования опубликованы в журнале *Nature Materials*.

## В Перми разработали новую технологию бездефектной печати металлами



Аддитивные технологии, или 3D-печать, с каждым годом все активнее используются в авиационной и аэрокосмической промышленности. Тем не менее печатать металлами все еще гораздо сложнее, чем полимерами. Чаще всего используется метод селективной лазерной плавки: сначала металл перетирают в мелкий порошок, а затем порошок слой за слоем плавят

с помощью лазера. Этот метод позволяет печатать с большой точностью, но он сложен и требует длительного времени. Альтернатива — метод проволочно-дуговой наплавки. В этом случае металл подается в виде проволоки, а конечное изделие выплавляется с помощью сварочной дуги. Этот метод гораздо проще и быстрее, но не обладает высокой точностью.

Совместить преимущества двух методов сумели российские материаловеды под руководством Дмитрия Трушника из Пермского политехнического института.

Они работали с проволокой, но сплавляли ее не дугой, а лазером. Для этого разработали оригинальную лазерную головку, а также систему управления подачей проволоки по обратной связи. Проволоку можно подавать вертикально, а для плавления использовать два лазера одновременно или по очереди. Это позволяет печатать изделия любой формы. Система обратной

связи получает сигналы из зоны наплавки и в соответствии с ними контролирует высоту печатающегося слоя. Благодаря этому принтер работает полностью автоматически.

Для экспериментальной печати использовали никель-хромовый сплав. Он отличается высокой коррозионной стойкостью, но из-за сложного химического состава и высокой температуры плавления работать с ним трудно даже традиционными методами, не говоря уже о 3D-печати. Для Трушника и его коллег это не стало преградой — они напечатали девять заготовок с разной скоростью и мощностью лазера. В ближайших планах группы — реализовать технологию в условиях вакуума, что позволит печатать металлами и сплавами высокой частоты. О первых результатах рассказал портал «*Научная Россия*» со ссылкой на пресс-службу института.

## Нанотрубки и машинное обучение помогут найти дефекты в крыле самолета



Чтобы авиаперелеты были безопасными, перед каждым вылетом готовность самолета проверяют инженеры. Они осматривают двигатель, крылья и корпус воздушного судна в поисках трещин и дефектов. Проще всего проверять целостность металлических деталей: для этого достаточно изме-

рить электрическое сопротивление. Если где-то появилась хоть одна микротрещина, сопротивление изменится. Для непроводящих полимерных материалов приходится использовать оптоволоконные датчики. Это усложняет и конструкцию крыла, и процесс проверки.

Более простой способ обнаружения дефектов в полимерном крыле самолета разрабатывают инженеры из Сколтеха под руководством Сергея Абаимова.

Ученые сделали датчики сопротивления из углеродных нанотрубок и научились встраивать его в полимерный материал. По изменению электрического сигнала в слое нанотрубок можно находить появившиеся в композите дефекты.

Датчик из нанотрубок очень тонкий, всего 5–10 микрометров, что в 10 раз меньше, чем у оптоволокна. Можно вставить в крыло сразу несколько датчиков, не меняя его аэродинамических свойств. Для

мониторинга тоже не требуется сложное оборудование, достаточно стандартного вольтметра.

Система датчиков сопротивления дает больше информации, чем оптоволокно, но полученный сигнал нужно правильно интерпретировать. Ученые использовали для этого машинное обучение: моделировали разные типы дефектов и учили нейросеть распознавать их. В результате алгоритм научился определять не только появление дефекта, но и его расположение, размер и форму.

В планах ученых — применить разработанные алгоритмы на реальном объекте, например фрагменте крыла самолета, и внедрять технологию в авиастроении и кораблестроении. Результаты исследования опубликованы в двух статьях в журналах *Composite Structures* и *International Journal of Engineering Sciences*.

## Вышитый биосенсор проследит за здоровьем пилотов



Во время полета стресс испытывает не только крыло самолета, но и человек, который этим самолетом управляет. На длительных рейсах очень важно следить за состоянием здоровья пилотов: сердцебиением, дыханием, давлением. При этом жела-

тельно делать все замеры незаметно, чтобы не мешать управлению самолетом.

Инженеры из Сингапура и Китая под руководством Дона Хо из Национального университета Сингапура разработали удобную систему сенсоров, которую можно встроить в ремень безопасности.

Обыкновенный эластичный ремень вышили проводящими нитками, расположив стежки друг под другом в виде гребня. Такая вышивка работает как своеобразная антенна: она принимает и усиливает радиоволны, которые генерирует сердце пилота. Это позволяет записывать кардиограмму и следить за дыханием без непосредственного контакта сенсора с кожей.

Сенсор испытали на добровольцах

в условиях симуляции кабины самолета и за рулем реального автомобиля. Он успешно записывал кардиограммы в течение нескольких часов, в том числе позволяя отследить момент, когда испытуемый начал дремать.

В дальнейшем авторы планируют адаптировать технологию, чтобы получать сенсоры-ремни промышленным путем. Такие устройства могут быть полезны и на земле, в том числе для контроля здоровья водителей общественного транспорта. Соответствующая статья вышла в журнале *Nature Electronics*.

## Микроробота в виде штопора научат двигаться по сосудам



Представьте себе миниатюрного робота, который плывет по кровеносному сосуду. И не просто движется по течению кровотока, а плывет туда, куда его направит врач:

может доставить лекарство, остановить кровотечение и даже провести операцию прямо внутри сосуда.

Конструированием таких микророботов уже несколько лет занимаются китайские инженеры под руководством Жуя Сюэ Иня из Восточно-Китайского университета науки и технологий.

Они предположили, что для движения против тока крови можно использовать внешнее магнитное поле. Расчет с помощью математической модели показал, что лучше всего продвигаться по сосуду сможет робот в форме штопора.

С помощью метода 3D-печати ученые создали такого робота, покрыли его метал-

лом и отправили плавать под действием магнитного поля в емкости с донорской кровью. Траектория движения в точности совпала с той, которую предсказывала модель, так что можно сказать, что робот и его создатели на правильном пути.

Робот уже готов к плаванию по искусственным сосудам, после чего его испытают на добровольцах. В дальнейшем математическая модель поможет продумывать план индивидуальных операций для каждого пациента. Результаты исследования опубликованы в журнале *Nature Communications*.

## Корейские ученые сделали самозаживляющуюся электронную кожу



Человеческая кожа — уникальный орган, который чувствует тепло, холод, механические воздействия и едкие химические вещества и в то же время умеет нас от всего этого защищать. А еще она способна самозаживляться.

Ученые уже долгое время пытаются сделать электронный аналог кожи: она пригодится и для создания сложных роботов, и для за-

мены человеческой кожи, например, после сильных ожогов.

Корейские материаловеды под руководством Инсанга Ю из Национального университета Сеула разработали электронную кожу из проводящих полимеров.

За основу материала взяли поликапролактон, а для эффекта самозаживления ввели два типа подвижных связей между соседними полимерными цепями: водородные и дисульфидные мостиковые. Такие связи легко рвутся, но так же легко и образуются снова. Если разрезать фрагмент кожи пополам, а затем сложить части, то они срастутся всего за 10 минут. Кроме того, кожа эластично растягивается в восемь раз и выдерживает давление до 34 мегапаскалей — примерно в тысячу раз больше, чем давление под колесами легкового автомобиля.

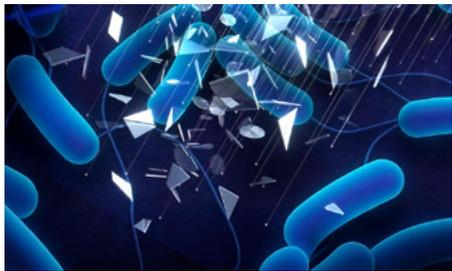
Затем на электронную кожу нанесли множество сенсоров из проводящей пленки, полимеров и серебряных хлопьев. Такие

сенсоры чувствительны к изменению температуры в диапазоне 30–60 °С и механическому напряжению. Получая информацию с нескольких сенсоров, можно понять, что за объект прикасается к коже, какой у него размер, форма и температура.

Электронную кожу уже испытали на роботизированной руке — манипуляторе для захвата объектов. Наличие сенсоров позволяет такой руке эффективно захватывать и переносить разные предметы, не повреждая их: горячую колбу, холодный скользкий шарик, кактус с хрупкими иголками. В то же время, когда иголки кактуса поцарапали кожу, поврежденный участок быстро восстановился.

Электронная кожа будет очень полезна для роботов-разведчиков, а также роботов — ликвидаторов аварий, как те, что сейчас работают на АЭС «Фукусима-1». Статья с результатами исследования вышла в журнале *Nature Communications*.

## Российские ученые получили наночастицы оксида церия для лечения ран



Медики уже более полувека знают об антибактериальных и заживляющих свойствах порошков и наночастиц оксида церия. Тем не менее реального медицинского применения такие частицы до сих пор не нашли. Все дело в том, что их синтез плохо масштабировался: удавалось получить

только небольшие количества порошка. Да и воспроизводимость была неидеальной, поэтому даже по одинаковым методикам синтеза разные экспериментаторы могли получать различный результат.

Решить проблему сумели российские медики и химики под руководством Екатерины Силовой из Первого Московского государственного медицинского университета имени И. М. Сеченова.

Ученые разработали новую двухстадийную методику синтеза. На первой стадии нитрат церия превратили в нерастворимый карбонат, который затем прокалили, чтобы получить наночастицы оксида церия. Методика хорошо воспроизводится и сразу позволила получить килограммы стабильных наночастиц с чистотой 99,99% и размером 10 нанометров. Кристаллическая решетка наночастиц имела большое количество структурных дефектов. В данном слу-

чае это хорошо: такие дефекты участвуют в нейтрализации активных форм кислорода и обеспечивают нужный медикам антибактериальный эффект.

Все образцы наночастиц оксида церия подавляли размножение синегнойной палочки — бактерии, вызывающей нагноение ран и имеющей устойчивость к большинству антибиотиков. Другой эксперимент показал, что наночастицы вдвое ускоряют деление клеток соединительной ткани и кожи, а также на 11–23% ускоряют обмен веществ в клетках. Это значит, что заживление кожи в присутствии таких частиц будет идти быстрее.

В ближайших планах у Екатерины Силовой и ее коллег — эксперименты с лечением ран у лабораторных животных. После этого препараты можно будет испытывать и на добровольцах. Соответствующая научная статья вышла в журнале *Pharmaceutics*.