

СВОДНЫЙ ДАЙДЖЕСТ

открытий в области умной химии

АПРЕЛЬ-ИЮНЬ

2020г



«Химия — это практически все, что нас окружает! На сегодняшний день научные разработки РХТУ им. Д.И. Менделеева охватывают практически все отрасли химии, химической технологии, нефтехимии, биотехнологии, а также ряд нехимических отраслей производства.

Университет реализует более 150 проектов в рамках федеральных целевых программ, грантов научных фондов, договоров с промышленными предприятиями.

Я искренне верю, что РХТУ станет лучшим химическим технологическим вузом страны, а наши выпускники будут одними из самых высокооплачиваемых специалистов на рынке труда. Ученые Университета не остались в стороне от решения проблем пандемии. Мы заканчиваем разработку способа получения субстанции фавипиравира – препарата, показанного к лечению новой коронавирусной инфекции.

Химия всегда являлась стратегической отраслью, и мы как ученые-химики понимаем нашу ответственность и продолжаем работать на благо будущего».

А.Г. Мажуга, Ректор РХТУ им. Д.И. Менделеева



«Средняя скорость регистрации новых химических соединений за последние полвека составляет примерно 1 соединение каждые 2.5 минуты. Новые открытия и достижения в области химии совершаются постоянно, и быть в курсе трендов и передовых достижений – необходимость. Для удобства получения информации и освещения открытий, которые меняют традиционные рынки и способствуют улучшению качества жизни, мы с командой бизнес-акселератора «Mendeleev» формируем еженедельные дайджесты, которые далее консолидируем в сборники за каждый квартал.

В данном выпуске были собраны самые интересные разработки в ведущих областях научных исследований за второй квартал текущего года. Особое внимание в выпуске уделено разработкам медицины, в частности были подробно рассмотрены открытия связанные с диагностикой и лечением COVID-19.»

А.В. Масленников, руководитель бизнес-акселератора «Mendeleev»

Оглавление

Раздел «Медицина».....	5
Раздел «Аддитивные технологии»	23
Раздел «Технологии для повышения качества жизни»	25
Раздел «Энергетика».....	26
Раздел «Электроника будущего».....	41
Тема номера	43



Раздел «Медицина»

➤ Мягкие имплантаты, напечатанные на 3D-принтере

Исследователи из Массачусетского технологического института создали мягкий печатаемый материал, вызывающий гораздо меньшее отторжение нейроимплантатов живыми тканями и позволяющий более точно стимулировать мозговые структуры и фиксировать их активность.

Авторы новой работы придумали, как можно печатать на 3D-принтере гибкие зонды и другие устройства для введения в мозг. Такие приборы создаются из электропроводящего полимера. Эти материалы стали интересны ученым в последнее время благодаря сочетанию их хорошей проводимости сопоставимой с гибкостью. Проводящие полимеры используются в коммерческих целях в качестве антистатических покрытий, поскольку они могут эффективно переносить электростатические заряды.

Ученые смогли так изменить обычно жидкий проводящий полимер под названием PEDOT:PSS, что он превратился в вещество, похожее на вязкую зубную пасту. Эту субстанцию затем пропускали через обычный 3D-принтер, чтобы создать стабильные электропроводящие узоры.

Чтобы проверить работоспособность нового полимерного материала, ученые напечатали небольшой резиновый электрод размером с частичку конфетти. Электрод состоит из слоя гибкого прозрачного полимера, поверх которого нанесен электропроводящий полимер в виде тонких параллельных линий. Такие линии сходились на кончике электрода около 10 микрон в ширину — этого вполне достаточно, чтобы принимать электрические сигналы от одиночного нейрона.

Команда напечатала несколько мягких электронных устройств, включая небольшой резиновый электрод, который они имплантировали в мозг мыши. Мыши дали возможность свободно перемещаться в контролируемой среде, при этом зонд был способен уловить активность отдельного нейрона. Мониторинг этой активности может дать ученым наиболее детальное представление о работе мозга животного в те или иные моменты времени, а также помочь в разработке методов лечения и долгосрочных имплантатов головного мозга для терапии различных неврологических расстройств¹.

➤ Методические рекомендации по лучевой диагностике COVID-19

Центр диагностики и телемедицины при помощи ведущих специалистов в области лучевой диагностики, анестезиологии и реаниматологии и инфекционных болезней подготовил методические рекомендации по лучевой диагностике COVID-19. В материалах подробно описаны семиотика вирусного поражения легких, дифференциальная диагностика, протокол описания результатов компьютерной томографии органов грудной

¹ <https://www.nature.com/articles/s41467-020-15316-7>

клетки, а также организация работы отделения лучевой диагностики в условиях пандемии коронавирусной инфекции.

На время эпидемии COVID-19 в России все большее количество медицинских организаций перепрофилируются для приема зараженных пациентов. Осложнения в виде воспаления легких при этой инфекции – не редкость, поэтому важно, чтобы врачи-рентгенологи во всех уголках нашей страны умели вовремя выбрать оптимальный метод диагностики, обнаружить и оценить признаки вирусной пневмонии, правильно составить заключение. Методические рекомендации Центра диагностики разработаны в помощь врачам лучевой диагностики и направлены на повышение безопасности и эффективности работы диагностических подразделений.

Пособие составлено с учетом самых свежих научных данных по лучевой диагностике коронавирусной инфекции COVID-19, а также требований Минздрава и Роспотребнадзора. Оно предназначено как для практикующих врачей и среднего медицинского персонала, так и для руководства клиник².

➤ **Биоактивный материал, уничтожающий бактерии**

Две основные проблемы в имплантационной хирургии – медленная приживаемость имплантата и риск развития бактериальной инфекции в месте его установки. Ускорить приживаемость возможно, изготовив имплантат из биоактивного материала, который стимулирует деление остеобластов – костных клеток пациента.

Большинство современных имплантатов изготавливаются из титана – он прочен, биоинертен и не подвержен коррозии. Однако титан не обладает биоактивными и антибактериальными свойствами, и именно поэтому ученые активно работают над созданием покрытий, устраняющих эти недостатки. Хорошие результаты демонстрирует пленка оксида титана (TiO₂) – из-за пористой структуры она наиболее пригодна для деления костных клеток, а включение в ее состав кальция и фосфора обеспечивает биоактивность. Тем не менее по-прежнему важной задачей является наделение имплантата антибактериальными свойствами.

Коллектив научно-учебного центра высокотемпературного синтеза НИТУ «МИСиС» разработал покрытия для титановых имплантатов на основе оксида титана с наночастицами серебра и платины. Разработанный учеными материал позволяет ускорить пролиферацию, то есть активное деление клеток, в среднем на 12–20%, а также обеспечить уничтожение до 100% бактерий через 72 часа и защиту от формирования бактериальной пленки.

Для проверки антибактериальных свойств материала образцы помещали в среды с различными штаммами кишечной палочки и золотистого стафилококка. Полученные результаты позволили сделать вывод, что синергетический эффект действия ионов серебра и активных форм кислорода позволяет быстро и эффективно устранять любую бактериальную инфекцию без угрозы для пациента. Образцы с наночастицами платины же уничтожают бактерии только благодаря реактивным формам кислорода.

² http://medradiology.moscow/f/luchevaya_diagnostics_koronavi

В дальнейших планах ученых – продолжить эксперименты по повышению биоактивности и бактерицидных свойств имплантатов. В частности, планируется насыщать открытые поры оксида титана антибиотиками, искусственной кровью и пептидами³.

➤ **Высокочувствительный рентгеновский детектор**

Сотрудники Лос-Аламосской и Аргоннской национальных лабораторий Министерства энергетики США представили новый прототип детектора рентгеновского излучения, который намного точнее и безопаснее аналогов в плане дозы облучения.

«Перовскитный материал, лежащий в основе прототипа нашего детектора, можно получить с помощью совершенно недорогих методов синтеза, — говорит один из авторов работы, аспирант Лос-Аламосской национальной лаборатории Синьхан Цай. — В результате получается экономичный, высокочувствительный и автономный детектор, который может радикально улучшить существующие рентгеновские сканеры и пригодится для множества других применений».

Высокая чувствительность перовскитных детекторов позволяет использовать их для медицинской визуализации, в частности в стоматологии и рентген-диагностике. Эти методы требуют небольшой экспозиции и связаны с использованием небольших доз облучения. Перовскитные детекторы можно сделать очень тонкими, что позволяет им получать изображения с высоким разрешением. Детекторы с низким энергопотреблением и повышенным разрешением также могут революционизировать сканеры в системах безопасности, например, аэропортов или метро, и визуализацию в приложениях для рентгеновских исследований⁴.

➤ **Высокопроизводительный метод иммунологического анализа крови**

Команда исследователей из Калифорнийского и Пенсильванского университетов разработала метод создания микрочипов, которые могут быстро анализировать большое количество образцов на концентрацию в них Т-клеток.

Т-клетки играют центральную роль в иммунной системе, помогая работе антител. Антитела распознают антигены — чужеродные белки — и связываются с ними в крови и других жидкостях организма, тогда как Т-клетки связываются только с антигенами, расположенными на поверхности клеток в организме, что позволяет иммунной системе обнаруживать инфицированные или раковые клетки.

Авторы новой работы изучали, как происходит отбор белковых фрагментов и связывание их с белками главного комплекса гистосовместимости (ГКГС) в клетках. В результате они создали новый метод анализа, который основан на роли шаперонов — особого класса белков — в этом процессе.

Исследователи начали разрабатывать этот метод еще до начала эпидемии COVID-19, но теперь решили выяснить, можно ли применить его для чего-то еще. При инфекции

³ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii..>

⁴ <https://advances.sciencemag.org/content/6/15/eaay0815>

на поверхности зараженных клеток есть множество фрагментов вирусных белков, и ученым важно определить, какие из них вызывают сильный иммунный ответ. Основываясь на последовательности генома SARS-CoV-2, ученые могут предсказать все возможные варианты пептидных фрагментов и загрузить их в свою программу, которая рассчитает, какой из белков вызывает наилучший иммунный ответ.

Этот подход также может быть использован для сравнения Т-клеточных рецепторов у разных возрастных групп пациентов. С возрастом количество Т-клеток снижается, что приводит к снижению способности вырабатывать иммунный ответ на новую угрозу. Возможно, именно поэтому пожилые люди более уязвимы к COVID-19⁵.

➤ **Стабильный состав бактериальных полимеров для создания биоимплантатов**

Группа российских исследователей изучила процессы разрушения полиоксиданов — экологически чистых и безопасных бактериальных полимеров. Оказалось, что судьба материала сильно зависит от его состава и наноструктуры: знание этих параметров позволяет предсказать поведение полимера в растворе на полгода вперед. Более того, можно подобрать такую композицию, при которой механические свойства разрушающегося вещества не будут изменяться совсем. Полученные знания помогут создать новые биоразлагаемые материалы для медицины.

«Мы разрабатываем заплату стенки кишечника, которая смогла бы способствовать заживлению повреждений. Для этого очень важно уметь предсказывать изменения свойств полимерных изделий, контактирующих с тканями человека и с бактериями в его организме», — говорит Вера Воинова, руководитель проекта, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник биологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова.

Наноструктура биополимера определяет прочность, важную для медицинских изделий. В процессе биодegradации пластик с исходно высокой упорядоченностью будет постепенно увеличивать прочность. Тем не менее так будет лишь до некоторого момента, после которого полимерное изделие быстро разрушится на мелкие фрагменты. Пластик с большим содержанием неупорядоченно уложенных цепей будет терять прочность постепенно. Лишь изделия из полимеров с равными долями упорядоченных и неупорядоченных структур будут вести себя стабильно в процессе биодegradации. Учёные показали, что такое переходное состояние действительно существует и соответствует 6% содержанию 3-оксидвалерата

Работа выполнена учеными из ФИЦ биотехнологии РАН, Института химической физики имени Н.Н. Семенова РАН и Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (Москва) при участии коллег из Технологического института сверхтвёрдых и новых углеродных материалов (Троицк, Москва)⁶.

⁵ <https://www.nature.com/articles/s41467-020-15710-1>

⁶ <https://www.rscf.ru/contests/search-projects/17-74-20104/>

➤ **Новый метод точной визуализации органов**

Просветление тканей органов — это процесс их взаимодействия с жидкостями в результате которого они становятся прозрачными и легкими для наблюдения с помощью различных методов визуализации. В 2014 году японские ученые создали технологию просветления под названием CUBIC, с помощью которой можно получать изображение всего тела на клеточном уровне.

Просветление тканей может привести к фантастическим результатам, но сама по себе она не имеет большой научной ценности. Для того, чтобы этот процесс был значимым, ученые должны иметь возможность окрашивать и маркировать конкретные ткани и типы клеток, которые затем можно изучать. Для этого требуется система, работающая с широким спектром окрашивающих агентов и антител. Хотя ученым известно несколько видов окрашивания и маркировки клеток, но ни один из них не был достаточно универсальным.

Чтобы создать такой метод, ученые из Киотского, Ниигатского и Токийского университетов провели ряд физических и химических анализов. Они обнаружили, что некоторые свойства биологических тканей можно сравнить с гель-электролитами. Основываясь на обнаруженных свойствах тканей, исследователи построили систему скрининга для изучения свойств биологических материалов с использованием искусственных гелей, которые могут имитировать биологические ткани. Проанализировав окрашивание и маркировку антителами искусственных гелей с помощью технологии CUBIC, авторы работы смогли создать точный, универсальный метод 3D-окрашивания и визуализации, который они назвали CUBIC-HistoVision. С помощью этой оптимизированной системы с высокоскоростным, микроскопическим 3D –изображением, им удалось окрашивать и визуализировать весь мозг мыши, половину мозга мартышки и квадратный сантиметр ткани человеческого мозга⁷.

➤ **Гибкие, мощные и быстрые биоэлектронные устройства**

Исследователи давно пытаются создать биоэлектронные устройства, которые были бы не только быстродействующими, чувствительными, биосовместимыми, мягкими и гибкими, но и обладали стабильностью в физиологических средах, таких как человеческий организм. Такие устройства значительно улучшили бы здоровье человека. Они позволили бы мониторить состояние его здоровья на дому, диагностировать и лечить нервно-психические заболевания, включая эпилепсию и болезнь Паркинсона. Конструкция современных устройств была серьезно ограничена жесткими, несовместимыми с живыми тканями электронными компонентами.

Обычные транзисторы изготовлены из кремния, поэтому они не могут функционировать в присутствии различного рода ионов и воды — это разрушает их. Поэтому такие устройства нужно помещать в герметичный пластиковый или металлический корпус. Кроме того, такие транзисторы хорошо фиксируют электрические сигналы, но очень плохо ионные. А последние по большей части встречаются в человеческом теле и используются клетками для «общения» друг с другом.

⁷ <https://www.nature.com/articles/s41467-020-15906-5>

Теперь команда исследователей из Колумбийского университета представила две работы, в которых они используют органические материалы, обладающие как хорошей ионной, так и электронной проводимостью. На их основе ученые создали управляющие ионами органические электрохимические транзисторы (e-IGT). Затем ученые использовали эти устройства для регистрации широкого спектра электрофизиологических сигналов, таких как нервные импульсы. Это поможет создавать в будущем мягкие, биосовместимые и стабильные имплантанты для регистрации, например, эпилептических припадков в реальном времени.

В другой работе исследователи показали эффективное и безопасное взаимодействие созданных ими биоэлектронных устройств, в частности имплантированных в организм для диагностики или терапии. Также авторы показали, что эти устройства способны не только фиксировать сигналы, но и обрабатывать их. При создании такого устройства ученые вдохновились нейронами в головном мозге, которые общаются с помощью электрических импульсов. Такое свойство устройству удалось придать благодаря использованию специального материала, который может выполнять множество различных функций при изменении размера и плотности микропроводящих частиц, входящих в его состав⁸.

➤ **Детектор, выявляющий вирусы и бактерии за полчаса**

Исследователи из Иллинойского университета в Урбане-Шампейне представили портативный детектор стоимостью в 50 долларов, который может определять присутствие патогенов, таких как вирусы, в образцах мазков из носа за 30 минут.

Исследование началось с целью выявления группы вирусных и бактериальных патогенов у лошадей, в том числе тех, которые вызывают тяжелые респираторные заболевания, подобные COVID-19. Начало пандемии повысило актуальность работы исследователей, и они решили перенести свои наработки с детектирования патогенов лошадей на анализ человеческих образцов. Учитывая существующий сегодня спрос на быстрые и недорогие тест-системы, новая «лаборатория на чипе», созданная исследователями, будет весьма кстати.

Новое тестирующее устройство состоит из небольшого картриджа, содержащего тестирующие реагенты и порт для вставки назального экстракта или образца крови. Весь блок закрепляется на смартфоне. Внутри картриджа реагенты разрывают внешнюю оболочку патогена, чтобы получить доступ к его РНК. Затем молекула праймера амплифицирует генетический материал до многих миллионов копий примерно за 10–15 минут.

«С помощью этого детектора можно быстро протестировать пассажиров перед посадкой на рейс или перед масштабными событиями, такими как конференция или концерт, — говорит один из разработчиков Брайан Каннингем, профессор Иллинойского университета в Урбане-Шампейне. — Облачные вычисления с помощью приложения для смартфона могут позволить регистрировать результаты теста и заносить его в базу при организации мероприятия или при посадке на рейс. Или же человек, находящийся в

⁸ <https://advances.sciencemag.org/content/6/17/eaaz6767>, <https://www.nature.com/articles/s41563-020-0638-3>

карантине, может ежедневно сам сдавать анализы, регистрировать результаты и отправлять врачу, чтобы понимать, когда ему можно выйти на улицу, не опасаясь того, что он может кого-то заразить».

Пока до внедрения устройства еще достаточно далеко, но ученые делают все возможное, чтобы скорее вывести его на рынок. На данный момент они работают над картриджем, который имеет все реагенты, необходимые для полной интеграции системы. Другие исследователи из США используют новый геном коронавируса для создания мобильного теста для COVID-19 и в данный момент стараются создать дешевый и простой картридж, который улучшит тестирование пациентов с коронавирусной инфекцией⁹.

➤ **Бактериальный клей, который помог создать искусственные антитела против вирусов**

Исследователи из Вагенингенского университета (Нидерланды) вместе с коллегами из Германии и Франции использовали бактериальный клей для создания синтетических антител, эффективных против потенциально смертельных вирусов порядка Bunyavirales.

Вирусы Bunyavirales переносятся по большей части насекомыми, такими как комары, и могут быть смертельно опасными для животных и человека. Всемирная организация здравоохранения включила несколько из этих вирусов в общий перечень патогенов, которые могут вызвать эпидемии среди людей в условиях отсутствия или недостаточности контрмер.

Ранее исследователям удалось обнаружить антитела под названием VNH, которые оказались эффективны при лечении респираторных вирусных инфекций. Антитела, обнаруженные у человека и большинства других животных, состоят из четырех «цепей» — двух тяжелых и двух легких. VNH были найдены у верблюдов и представляют собой антигенсвязывающие домены тяжелых цепей антител. Они полностью функциональны как единый домен. Это обуславливает их небольшой размер и способность связывать патогены там, где это не способны сделать человеческие антитела. Кроме того, природа VNH делает их идеальными строительными блоками для создания многофункциональных комплексов.

В новом исследовании команда ученых иммунизировала лам с помощью двух прототипов Bunyavirales — вируса лихорадки Рифт-Валли (RVFV) и вируса Шмалленберга (SBV), — чтобы создать VNH, которые бы нацеливались на важную часть инфекционного механизма вируса — головку гликопротеина. Исследователи обнаружили, что антитела для RVFV и SBV распознают различные области в структуре гликопротеина.

Когда ученые проверили способность VNH нейтрализовать вирус в пробирке, они обнаружили, что одно антитело не способно выполнить эту работу. Комбинирование двух различных типов этих структур улучшило лечение SBV, но оказалось малоэффективным против RVFV. Чтобы решить эту проблему, исследователи использовали бактериальный клей, чтобы соединить вместе несколько типов антител. Оказалось, что такие комплексы

⁹ <https://clck.ru/PFBet>

VНН эффективно нейтрализуют оба вируса, но только в том случае, если они нацелены более чем на один регион вирусной головки гликопротеина.

Исследования на мышах показали, что эти комплексы способны снижать смертность при заражении вирусами. Количество вирусов в крови мышей с антителами также было существенно ниже по сравнению с контрольной группой. Чтобы работать в организме человека, антитела должны обладать всеми функциями естественных человеческих антител. Для этого команда ученых сконструировала химерные антитела человека и ламы. Введение такого антитела мышам до заражения предотвратило летальный исход заболевания у 80% животных, а лечение после заражения предотвратило смерть у 60% ¹⁰.

➤ **Лазер для адресной доставки лекарства в раковую опухоль**

Исследователи из Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого и Университета ИТМО вместе с зарубежными коллегами смогли усовершенствовать технологию адресной доставки и активации противоопухолевого препарата с помощью оптического лазера.

Адресная доставка лекарств разрабатывается уже довольно давно. Она считается эффективнее традиционных методов терапии, особенно онкологических заболеваний, так как оказывает минимум побочных эффектов на организм, концентрируя препарат там, где это необходимо. Новый метод, созданный российскими исследователями, основан на использовании гибридных микрокапсул, состоящих из наночастиц альфа-оксида железа (III) и биосовместимых полимеров с противоопухолевым препаратом.

В качестве платформ для доставки лекарств исследователи использовали мезенхимальные стволовые клетки. Они считаются наиболее привлекательными благодаря относительно простому получению в лабораторных условиях.

«Технически в медицинском учреждении можно реализовать созданный нами метод. С помощью существующих средств возможно сделать так, чтобы лазер открывал микрокапсулы, но не наносил вред тканям и органам, — говорит один из исследователей, руководитель лаборатории микрокапсулирования и управляемой доставки биологически активных соединений центра «RASA-Политех» СПбПУ Александр Тимин. — Врач при этом проводит контроль нахождения микрокапсул в организме. Под действием лазера откроются только те микрокапсулы, на которые направлен импульс излучения».

Авторы работы подчеркивают, что за счет адресной доставки лекарства будет происходить максимально эффективное воздействие на организм. Созданные учеными частицы обладают преимуществом при преобразовании световой энергии в тепловую при лазерном облучении (170 °С), по сравнению с благородными металлами и кремнием, которые ранее использовались для целей адресной доставки. Исследователи провели ряд экспериментов на живых клетках в условиях, максимально приближенных к реальным, и показали эффективность нового метода адресной доставки и высвобождения препаратов. В будущем авторы планируют провести исследования на лабораторных животных ¹¹.

¹⁰ <https://elifesciences.org/articles/52716>

¹¹ <https://onlinelibrary.wiley.com/.../abs/10.1002/lpor.201900082>

➤ **Сердечный клапан с наноалмазами**

Химики из МГУ вместе с коллегами из НМИЦ ССХ им. Бакулева разработали и получили патент на биопротез сердечного клапана, поверхность которого покрыта наноалмазами. Протез из синтезированного материала может работать в организме до 20 лет без замены.

Сегодня в мировой кардиохирургии чаще всего используются протезы клапанов сердца на основе бычьего перикарда. Чтобы уменьшить силу реакции отторжения трансплантата и увеличить механическую прочность ткани, ученые стабилизируют протезы глутаровым альдегидом. Однако у этой техники есть побочный эффект: свободные альдегидные группы, которые не связались с белковой структурой матрицы, оказываются центрами развития кальциноза — отложения солей кальция в тканях. В результате такой протез отказывает через некоторое время, и человеку требуется новая операция по пересадке.

Решить эту проблему, совместив прочность и долговечность протеза, удалось российским исследователям. Они запатентовали биологический протез на основе бычьего перикарда с нанесенной на поверхность суспензией наноалмазов. Наноалмазы — это наночастицы, идентичные обычному алмазу. Они имеют ту же кристаллическую решетку, но их размеры находятся в районе нескольких десятков нанометров. Этот материал был создан в России еще в 1960-х годах, но практического применения ему долго не находили. Лишь позже, начиная с 1990-х, ученые во многих странах мира стали исследовать биологические свойства наноалмазов. Они выяснили, что небольшие углеродные частицы могут быть средством адресной доставки лекарств.

Химики из МГУ создали из наноалмазного порошка водную суспензию, в которую погружали бычий перикард. На поверхности биоткани трансплантата наноалмазы образовывали пленку, которая придавала материалу дополнительную прочность, но при этом сохраняла его упругость¹².

➤ **Система сенсоров для выявления заболеваний легких**

Исследователи из России и Италии создали компактную систему сенсоров, которая может анализировать выдыхаемый воздух, а также выявлять патологии дыхательных путей и органов. Испытания устройства показали, что оно способно с высокой точностью определять хроническую обструктивную болезнь легких (ХОБЛ) — воспалительное заболевание дыхательных путей.

ХОБЛ развивается в слизистых бронхов из-за различных внешних факторов. В конечном итоге она приводит к изменениям функций органов дыхательных путей и может стать причиной смерти от удушья. При этом заболевании, которое чаще всего вызывается газами и летучими частицами, наблюдается сужение просвета дыхательных путей, из-за чего развивается дыхательная недостаточность. Для выявления этой болезни существующими методами приходится затрачивать достаточно много времени. Точнее всего определить ХОБЛ помогают газовая хроматография и масс-спектрометрия, которые, однако, дороги и трудоемки.

¹² https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?D

Исследователи из НИУ «МИЭТ», Сколтеха и Католического университета предложили свой метод диагностики ХОБЛ. Он основан на том, что при возникновении этого заболевания наблюдаются изменения в метаболизме, которые влияют на состав выдыхаемого человеком воздуха. Созданный учеными в ходе экспериментов «электронный нос» позволяет быстро контролировать и выявлять такого рода заболевания в течение всего нескольких минут. При этом сами сенсоры являются многоцветными, а полученные в ходе измерений данные анализируются с помощью искусственного интеллекта для дифференциальной диагностики болезней.

Новое устройство создано на основе модифицированных углеродных нанотрубок (УНТ), что позволяет «электронному носу» совмещать в себе важные свойства, такие как гибкость и электропроводность чувствительных пластин. Сами УНТ авторы создавали с помощью метода аэрозольного химического осаждения из газовой фазы в виде тонких прозрачных и токопроводящих пленок. Такая методика легко воспроизводима и масштабируема, а также позволяет наносить пленки из нанотрубок на любые поверхности¹³.

➤ Новые материалы для костной реконструкции

Российские химики из Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН совместно с учеными из МГУ им. М.В. Ломоносова и ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России создали новые костные цементы на основе фосфатов кальция и магния для применения в стоматологии, реконструктивной хирургии и ортопедии при замещении дефектов костных тканей и в качестве носителя лекарственных средств. Новые цементы можно применять как «клей» для соединения фрагментов кости или прикрепления титанового имплантата.

В современной ортопедии применяют цементы на основе нерастворимого биоинертного полимерного акрилата. Среди минусов такого подхода – нерастворимость материала в организме, что мешает росту кости и экзотермическая реакция при применении, что может привести к ожогу тканей и невозможности добавить в материал антибиотик для профилактики заражения. Фосфатно-кальциевые цементы, наоборот, способны заместить дефект кости, но в этом случае нужна химическая реакция между порошком и жидкостью, что приводит к закислению места имплантации и некрозу ткани.

Российские ученые разработали методику синтеза предшественника цементного порошка и добились максимально равномерного распределения фаз в костном цементе. Оказалось, что присутствие MgO в исходных порошках приводит к значительному увеличению прочности цементов. Авторы смогли увеличить прочность на сжатие втрое и добиться времени схватывания в 13-15 минут, что вполне хватает для введения смеси в место костного дефекта. При этом смесь имеет нейтральный pH и не нагревается, поэтому если ввести в нее антибиотик, цемент становится активным против различных бактерий¹⁴.

¹³ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adhm..>

¹⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S24..>

➤ **Впервые создан бионический глаз с искусственной сетчаткой**

Команда исследователей из Гонконгского университета науки и техники, Калифорнийского университета и Национальной лаборатории Лоуренса в Беркли создала искусственный глаз, который по своим параметрам и функциям приближается к человеческому.

В научно-фантастических фильмах и книгах часто описываются роботы или киборги, зрение которых значительно превосходит человеческое благодаря специальным бионическим глазам. Однако в реальности реализовать такую технологию отнюдь не просто. На практике создание устройств искусственного зрения со сферической формой и полусферической сетчаткой оказалось довольно сложной задачей.

До сих пор ученым удавалось создавать бионические глаза, функциональность которых была очень ограниченной. Исследователи из США и Китая создали искусственный глаз, который очень близок к человеческому по своим параметрам, включая размер и способность фокусировки. Чтобы сделать это, ученые фактически построили устройство по образу и подобию естественного биологического глаза, сохранив форму его частей.

Новый искусственный глаз покрыт защитной оболочкой из вольфрама с нанесенным на нее алюминием. В его передней части, как и у обычного глаза, расположены хрусталик и радужка, а сзади — сетчатка. Корпус устройства заполнен ионной жидкостью.

Искусственный глаз способен реагировать на тот же диапазон интенсивностей света, что и человеческий глаз. Кроме того, новое бионическое устройство не уступает «оригиналу» и в светочувствительности, его реакция на изменения интенсивности света даже быстрее, чем у естественного глаза. В нынешней версии глаза нанопроволоки соединены вместе в группы из трех или четырех проводов, и это обеспечивает разрешение глазного яблока всего 10 x 10 пикселей, что довольно мало. Это связано с размером проводов по сравнению с датчиками. Для создания практически применимого искусственного глаза, который обладал бы разрешением как у человеческого, необходимо будет соединить миллионы ультратонких проводов с сетчаткой. На данный момент исследователи как раз работают над этим и рассчитывают, что в течение десяти лет первый актуальный прототип устройства будет готов к использованию людьми¹⁵.

➤ **Новый метод синтеза производных оксииндола**

Ученые Северо-Кавказского федерального университета смогли новым методом синтезировать производные оксииндола, эффективные в борьбе с туберкулезом. Реакция протекает быстрее, дает больший выход вещества, при этом используются более доступные реагенты.

Производные оксииндола встречаются в природе. Это родственные вещества известного красителя индиго. Многие из них обладают высокой биологической активностью. Некоторые эффективны в борьбе с туберкулезом. Сегодня эти соединения мало изучены и синтезировать производные оксииндола (2-алкилидениндолин-3-она)

¹⁵ <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2285-x>

трудно. Существующий подход позволяет получать такие вещества только в несколько стадий (подходов), что довольно сложно. К тому же, на выходе образуется не так много соединения, что значительно увеличивает стоимость его производства. Ученые СКФУ предложили другой подход. Он позволяет синтезировать эти вещества всего в одну стадию.

«Мы берем более доступные исходные вещества, смешиваем их и запускаем интересное каскадное превращение, - пояснил руководитель проекта, доцент кафедры химии СКФУ Николай Аксенов. – Одна за другой проходят три основные реакции, в результате которых образуются производные оксииндола. За счет того, что синтез происходит в одну стадию путем каскадной реакции, мы получаем эти вещества намного быстрее и в гораздо большем количестве. Благодаря такому подходу производство соединения становится менее затратным и более экологичным».

Ученые уже синтезировали новым методом несколько десятков производных оксииндола. Эти соединения планируется отправить на испытания. Коллеги ставропольских химиков из Техасского университета проверят вещества на противораковую и противотуберкулезную активность. Испытания будут проводиться на клетках¹⁶.

➤ **Новые сенсibilизаторы для фотодинамической терапии, способные визуализировать и разрушать раковые клетки**

Исследователи из ИНЭОС РАН вместе с коллегами из РХТУ, МИРЭА и Университета Бордо (Франция) синтезировали новое соединение для фотодинамической терапии - метода лечения онкологических заболеваний, при котором на опухоль воздействуют лазерным излучением. В одной молекуле ученые соединили две функциональные группы - бактериохлорофильную и нафталимидную, которые разделяет линкер на основе олиго(этиленгликоля). Первая группа играет роль ружья: когда ее облучают светом определенной волны, запускается фотохимическая

реакция и в результате выделяется синглетный кислород, который разрушает раковые клетки. А вторая группа - это прицел ружья: если ее облучить светом другой длины волны, то ее фосфоресценция визуализирует размер и положение опухоли. До этого совместить ружье и прицел в одной молекуле сенсibilизатора без ущерба их функциональности ни у кого не получалось. В новой работе ученые оптимизировали структуру молекулы, подбирая размеры линкера и в результате разрешили эту дилемму¹⁷.

➤ **Электрохимическая методика синтеза енаминов, использующихся для создания лекарств**

Ученые Института органической химии им. Н.Д. Зелинского вместе с учеными РХТУ им. Д.И. Менделеева разработали метод получения сложных органических соединений - N-незамещенных енаминов, содержащих сульфонильную группу. Эти

¹⁶ <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/ra/>

¹⁷ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S10>.

вещества важны для разработки биологически-активных молекул при создании новых лекарств.

Обычными методами получить енамины очень сложно - синтез проводят из α -замещенных винил-азидов, но помимо енаминов в реакционной смеси образуются кетоны и имины, снижающие выход основного продукта. Для решения этой проблемы ученые использовали электрохимические реакции. Они поместили исходные вещества (винил азид и сульфонил гидразид) в ячейку с графитовым анодом и стальным катодом, добавили иодид аммония в качестве фонового электролита, а также окислительно-восстановительного катализатора и подавали на систему постоянный ток. Выход такой реакции по основному продукту - N-незамещенному енамину с сульфонильной группой, превысил 80%. Это открывает широкие возможности использования разработанного метода для синтеза сложных енаминов¹⁸.

➤ **Наночастицы, заполненные лекарством от рака, которые проникают в опухоль и разрушают ее**

У популярного противоопухолевого препарата фторурацила есть серьезное побочное действие: повышение его концентрации в крови приводит к защитному ответу со стороны организма - выделению нейтрофильных внеклеточных сетей, состоящих из нуклеиновых кислот и ферментов. Большое количество таких сетей в сосудах образуют тромбы, препятствующие нормальному кровообращению, что отрицательно сказывается на состоянии пациента. Чтобы обойти эту проблему группа ученых из ФНКЛ физико-химической медицины ФМБА, РХТУ и Университета Крита разработала “тройного наноконя” - полимерные биосовместимые наночастицы из амфифильного поли-N-винилпирролидона, внутри которых спрятан фторурацил. Попадая в опухоль, наночастицы высвобождают лекарство, которое разрушает раковые клетки.

Исследования показали, что фторурацил, “спрятанный” в наночастицах, не приводит к заметному образованию нейтрофильных внеклеточных сетей в крови, тем самым снижая вероятность образования тромбов¹⁹.

➤ **Сенсоры хиральных молекул в лекарствах**

Сотрудники Томского политехнического университета вместе с коллегами из Чехии разработали суперчувствительные сенсоры, позволяющие обнаруживать в лекарствах различные энантиомеры — молекулы, которые относятся друг к другу как отражения в зеркале. Такие соединения могут уменьшать эффективность препаратов или даже приносить вред человеку. Эксперименты показали, что чувствительность новых сенсоров намного выше традиционных.

Энантиомеры являются зеркальными отражениями друг друга и вращают плоскость поляризованного света в противоположных направлениях. Из-за этого отличия такие соединения могут оказывать разный биологический эффект.

¹⁸ <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.orglett.0c00139>

¹⁹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09>

Концентрация этих веществ в лекарствах жестко регламентируется. Например, препарат или совсем не должен содержать энантиомеры, или иметь их в составе только в безопасном количестве. Поэтому специалистам необходимо быстро и эффективно детектировать такие вещества. Сегодня для этого используют электрохимические методы и хроматографию. Однако их предел обнаружения обычно не выше 10⁻⁸ моль/литр.

Исследователи из ТПУ разработали сенсоры, предел обнаружения которых находится на уровне до 10⁻¹⁸ — это на десять порядков точнее используемых до сих пор тест-систем. Сенсор представляет собой тонкую золотую пластину с волнообразной поверхностью. Такие пластины ученые использовали и в других своих работах. Но в этом исследовании они привили на поверхность пластинки металлоорганические каркасы, которые состоят из ионов цинка и органических соединений. Такая пористая структура способна «захватывать» нужные вещества благодаря правильно подобранному размеру пор в каркасе и сходной химической природе соединений, которые нужно поймать. Авторы проводили эксперименты с каркасом, в состав которого входит молочная кислота. Это соединение само по себе оптически активное, поэтому металлоорганические каркасы на основе ее энантиомеров могут захватывать другие оптически активные вещества. В новых экспериментах ученые испытывали такую сенсорную конструкцию на лекарстве против болезни Паркинсона и ряде аминокислот²⁰.

➤ **Новая технология управления генетической экспрессией для «интернета тела»**

Команда ученых из Швейцарской высшей технической школы в Цюрихе впервые смогла регулировать генную экспрессию, используя для этого электрический ток. Такую технологию можно использовать для создания биомедицинских имплантов, которые могут дистанционно включаться и выключаться.

Для реализации методики авторы работы создали имплант размером с монету. Он состоит из печатной управляющей платы и капсулы, содержащей клетки человека: обе части импланта соединены миниатюрным электрическим кабелем. Устройство активируется при помощи радиосигнала, после чего управляющая плата начинает генерировать электрический ток для активации клеток.

Электричество стимулирует калиевые и кальциевые каналы в мембранах. Эти каналы, в свою очередь, запускают биохимический каскад, регулирующий экспрессию гена синтеза инсулина — гормона, отвечающего за утилизацию глюкозы в организме. Накапливающийся инсулин заключен в пузырьки-везикулы, которые сливаются с мембраной и высвобождают таким образом гормон из клетки.

Такой имплант может быть полезен диабетикам. Как только человек с подобным устройством, вживленным под кожу, что-то съедает и уровень сахара в его крови повышается, он может активировать имплант — например, через приложение на мобильном телефоне. Вскоре после этого клетки высвободят необходимое количество инсулина, вырабатываемого для регулирования уровня сахара в крови пациента. Также девайс может самостоятельно снимать биохимические показатели и активироваться автоматически.

²⁰ <https://www.sciencedirect.com/.../a.../abs/pii/S235294072030113X>

Исследование швейцарских ученых стало первым в своем роде, показывающим, как работа генов может контролироваться при помощи электрических сигналов. Авторы разработки проверили ее на мышах и уже планируют протестировать имплант на людях.

Подобные устройства могут дать мощный толчок развитию так называемого интернета тела — масштабной экосистеме медицинских девайсов и датчиков. «Подобное устройство позволило бы людям полностью интегрироваться в цифровой мир», — говорит ведущий автор работы Мартин Фуссенеггер²¹.

➤ **Эффективная вакцина от меланомы кожи и рака почки**

Исследователи из НМИЦ онкологии им. Н. Н. Петрова создали новую вакцину против рака, которая может быть создана из собственных опухолевых клеток пациента. Ее применение увеличило пятилетнюю выживаемость до 25,1% пациентов и десятилетнюю выживаемость до 22% пациентов с III–IV стадиями меланомы кожи и рака почки. Исследователи также обнаружили, что на эффективность лечения злокачественных новообразований влияет уровень продукции опухолевыми клетками белка MICA, который блокирует рецепторы T-лимфоцитов.

Новую вакцину на основе аутологичных опухолевых клеток (собственных опухолевых клеток пациента), модифицированных геном tag7/PGRP-S, российские исследователи начали разрабатывать еще в 2001–2009 годах. Тогда еще не существовало эффективных препаратов для иммунотерапии. Онкологи не верили, что можно «разбудить» противоопухолевый иммунитет, помочь ему обнаружить и уничтожить раковые клетки. Пациенты с меланомой и раком почки тогда получали только хирургическое лечение без лекарственной терапии, так как при таких дозах она оказывалась малоэффективной.

Группа исследователей из Института биологии гена РАН под руководством академика Георгия Георгиева во время экспериментов на мышах обнаружила ген tag7. Его внедрение в опухолевые клетки замедляло их рост. Предполагалось, что белок tag7 участвует в передаче сигнала антигенпрезентирующим дендритным клеткам, которые «показывают» T-лимфоцитам мишень для уничтожения.

Затем ученые обнаружили аналог гена tag7 в клетках иммунной системы человека. Они предположили, что его можно использовать в противоопухолевой терапии. Чтобы изготовить вакцину, ученые на первом этапе отобрали образцы опухоли пациентов. Затем авторы переносили образцы в культуру, трансфицировали геном tag7, после чего с помощью ионизирующего излучения уничтожали способность опухолевых клеток размножаться. Трансфицированные опухолевые клетки могут жить в организме пациента до двух месяцев, не вызывая при этом онкологических заболеваний. При этом клеточные структуры могут синтезировать белок Tag7, который привлекает и активирует иммунную систему.

Полученный продукт вводили пациентам подкожно каждые три недели до прогрессирования заболевания или в течение двух лет с момента начала лечения. С 2001 по 2014 год в исследовании, которое проводилось на базе научного отдела

²¹ <https://science.sciencemag.org/content/368/6494/993>

онкоиммунологии НМИЦ онкологии им. Н. Н. Петрова, приняли участие 80 пациентов. Из них 68 с меланомой кожи и 12 с раком почки. У 26 (33%) пациентов медики установили III стадию заболевания, у 54 (67%) — IV стадию. В качестве адъювантной терапии вакцину получали 19 больных: 17 с меланомой, 2 с раком почки. В лечебном режиме, то есть после неполного удаления опухоли и уже после обнаружения метастазов, — 61 пациент: 51 с меланомой кожи, 10 с раком почки. Никто из них не получал другого лечения.

С 2014 по 2018 год ученые наблюдали за пациентами. Оказалось, что пятилетняя общая выживаемость в совместной группе больных с меланомой, и раком почки составила 25,1%. Различий в общей выживаемости между ними не было. При этом десятилетняя общая выживаемость составила 22% для пациентов с меланомой кожи, 42% — для пациентов с меланомой кожи с благоприятным прогнозом. Для сравнения, обычно пятилетняя общая выживаемость больных с меланомой кожи, получавших ипилимумаб (иммуноонкологический препарат), составила 17%²².

➤ **Технология 3D-печати для создания конструкции для регенерации костей**

Исследователи из России смогли создать новую технологию 3D-печати персонализированных изделий из биоактивной керамики. Ученые провели доклинические исследования на крупных животных и показали, что экспериментальные образцы ген-активированных материалов могут использоваться для направленной регенерации костных тканей.

Сегодня в мире наблюдается большое количество пациентов с дефектами костей скелета. Они могут возникать в результате травм, онкологических патологий, врожденных деформаций и аномалий развития, дегенеративно-дистрофических и воспалительных заболеваний. Согласно Федеральной службе государственной статистики, в 2015 году в нашей стране было выявлено три миллиона травм костей скелета.

При костных дефектах сегодня применяют реконструктивно-восстановительное лечение, которое основано на использовании костных аутотрансплантатов. Это обуславливается тем, что остеопластические материалы эффективны только при небольших дефектах.

Альтернативным вариантом аутотрансплантации могут стать методы, позволяющие быстро и индивидуализированно восполнить утраченную структуру и функцию поврежденных костей. Такие методы должны учитывать уникальные особенности скелета и дефектов кости, а также способны заменить часть или даже всю костную ткань. На сегодня лучше всего для осуществления этих целей подходит 3D-печать биорезорбируемых имплантатов с использованием генетических технологий.

Российские ученые смогли создать уникальную технологию трехмерной печати персонализированных изделий из биоактивной керамики. С помощью нового метода авторы создали персонализированные ген-активированные имплантаты. После разработки технологии исследователи смогли создать первые прототипы таких материалов и провели

²² <https://theoncologist.onlinelibrary.wiley.com/.../theoncologi...>

их комплексный физико-химический и биохимический анализ. Затем авторы провели и первые доклинические исследования на крупных животных²³.

➤ **Новый подход к лечению фиброза легких, который поможет при COVID-19**

Исследователи Института регенеративной медицины МНОЦ МГУ предложили новый подход к лечению фиброза легких. Он также поможет в профилактике и терапии осложнений при заражении COVID-19.

Фиброз лёгких – заболевание, предусматривающее наличие в области лёгких рубцового типа ткани, которая нарушает функцию дыхания. В результате этого заболевания может возникнуть дыхательная недостаточность, которая нередко становится смертельной. Эффективные методы лечения таких заболеваний до сих пор не найдены.

Исследователи Медицинского научно-образовательного центра и факультета фундаментальной медицины МГУ теперь представили исследование, которое показывает, как вещества, которые секретируются мезенхимные стромальные клетки (МСК) человека, способны предотвращать развитие фиброза. Для оценки способности факторов, продуцируемых МСК, предупреждать развитие фиброза, исследователи смотрели, как дифференцируются фибробласты кожи человека в миофибробласты с помощью фактора TGFβ.

«Что еще важнее, мы выяснили, что при добавлении компонентов секрета МСК к уже дифференцированным миофибробластам, у них наблюдается пониженная экспрессия α-актина и понижается способность сокращать коллагеновый гель. Это значит, что может происходить обратное развитие фибротических процессов. Таким образом, мы выяснили, что секретируемые МСК человека компоненты способны как подавлять развитие фиброза, так и способствовать его реверсии», — говорит одна из исследователей, заведующая лабораторией репарации и регенерации тканей Института регенеративной медицины МНОЦ МГУ Анастасия Ефименко²⁴.

➤ **Инновационный биорезорбируемый материал для имплантов**

Материаловеды НИТУ «МИСиС» и Университета Западной Австралии представили инновационный биорезорбируемый сплав на основе магния, галлия и цинка. Материал может применяться для изготовления временных имплантатов при лечении переломов и восстановлении хирургически удалённых участков кости, а также в терапии остеопороза, множественной миеломы, болезни Педжета.

В современной костной имплантологии и сердечно-сосудистой хирургии все чаще используются биоразлагаемые имплантаты, которые постепенно растворяются и замещаются тканями организма. Такой подход помогает минимизировать вызванное имплантатом воспаление окружающей ткани и устраняет необходимость в операции по удалению имплантата. Преимущества использования таких имплантатов особенно

²³ <http://ijb.whioce.com/index.php/int-j-bioprinting/issue/.../29>

²⁴ <https://www.mdpi.com/2073-4409/9/5/1272>

заметны в детской ортопедии, так как в растущем организме постоянные имплантаты могут ограничивать развитие костей.

Особый интерес ученых в качестве биоразлагаемых материалов для изготовления имплантатов вызывают магниевые сплавы из-за их высокой биосовместимости, достаточно высокой механической прочности и приемлемой скорости биодеградации.

Международный научный коллектив материаловедов из России и Австралии представил инновационный биоразлагаемый сплав на основе магния, галлия и цинка, который может применяться для остеосинтеза в случаях, когда дополнительно требуется терапия заболеваний, связанных с разрушением и снижением прочности кости. Имплантат из него может стать безопасным для пациента временным «каркасом» для замещения поврежденной кости, и по мере нарастания костной ткани, которое стимулирует сам материал имплантата, «раствориться» организмом.

По словам разработчиков, ценным свойством разработанного сплава является также достаточно низкая скорость биокоррозии. Это значит, что имплантат из такого сплава не подвергается слишком быстрому разложению в агрессивной с точки зрения воздействия на металлы среде человеческого организма и сохранит свои поддерживающие функции на протяжении всего процесса заживления.

В настоящее время коллектив завершает цикл лабораторных экспериментов и готовится к доклиническому этапу исследований²⁵.

²⁵ <https://www.sciencedirect.com/.../artic.../pii/S2213956720300402>



Раздел «Аддитивные технологии»

➤ Новая технология 3D-печать на основе керамики

Ученые из Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого разработали новую технологию 3D-печати изделий на основе материалов из карбида кремния и исследовали свойства изготовленных деталей. Устойчивый к коррозии и высоким температурам карбид кремния — перспективный кандидат для замены более тяжелых металлических сплавов в ракетостроении, авиации и энергетической промышленности.

В начале 1980-х годов на смену механическим методам производства деталей (вырезание, обтачивание или другой способ придания формы) стали приходить аддитивные технологии (АТ). Они предполагают создание объекта путем его послойного наращивания на основе компьютерной модели. К таким технологиям относится получившая известность 3D-печать, в ходе которой материал наносят на специальную платформу или заготовку. Металлические, пластиковые или керамические порошки пропитывают клеем, спекают, прессуют и так далее, добиваясь необходимых свойств. С развитием техники и программирования стало возможным не только изготавливать бумажные и пластиковые прототипы, но и создавать готовые функциональные изделия. Аддитивные технологии позволяют реализовать любые конструкторские и инженерные идеи в наукоемких отраслях производства — авиастроении, двигателе- и моторостроении, ракетостроении и медицине (в том числе можно «печатать» имплантаты). Количество материалов, применяемых для аддитивных технологий, постоянно увеличивается, возможный спектр свойств изделий расширяется, а изготовление — удешевляется. Это способствует все более массовому использованию АТ: по данным опроса Sculpteo, в 2018 году 40% мировых промышленных компаний применяли в производстве 3D-печать.

Ученые из Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ) разработали технологию 3D-печати из новых керамических материалов и исследовали свойства полученных изделий. Они предложили создавать композиты на базе карбида кремния, упрочненного его же волокнами.

Для разработки технологии потребовалось комплексное исследование: на первом этапе необходимо было получить сферический порошок карбида кремния. Для этого ученые применили методы спрейной сушки (распыление водного раствора на вращающийся диск) и плазменной сфероидизации (обработка в плазменных потоках). Затем исследователи отработали режимы 3D-печати по технологии струйного нанесения связующего. В результате были изготовлены пористые заготовки изделия с требуемой геометрией из композиционного материала. Далее ученые провели несколько циклов обработки, состоящих из пропитки заготовок керамообразующим полимером с последующим пиролизом (термическим разложением) для придания заготовкам необходимой прочности и улучшения их свойств. В результате пропитки и пиролиза остаточные поры в изделии были заполнены карбидом кремния. На основе проведенных

исследований ученые изготовили прототип сопловой лопатки — детали, используемой в турбинах, например, ракет, самолетов или автомобилей²⁶.

➤ **Усовершенствованная технология 3D-печати для деталей самолетов и ракет**

Исследователи из России и Болгарии разработали датчик, который способен улучшить технологию 3D-печати металлических деталей. С помощью него можно более точно и быстро создавать промышленно значимые изделия, учитывая все технологические параметры. Разработка может найти применение в авиа- и ракетостроительной отраслях.

Чтобы создать датчик, исследователи сначала нашли физическую величину, которая позволяет получать точную информацию о процессе наплавки. Затем авторы создали специальную математическую модель, которая позволила установить «связь» между сигналом на выходе с датчика и положением проволоки относительно электронного луча. После этого ученые придумали схему его регистрации и методику обработки. В конечном итоге исследователи изготовили и собрали все части устройства и провели ряд экспериментов для подтверждения результатов проведенного ранее компьютерного моделирования.

На данный момент ученые представили лабораторный образец своего устройства и теперь работают над созданием взаимодействующей с ним системы. С помощью нее можно будет в автоматическом режиме совмещать электронный луч с проволокой. Изобретение будет потенциально интересно тем предприятиям, которые используют электронно-лучевые аддитивные технологии. В отличие от зарубежных аналогов, технология российских исследователей позволяет совмещать электронный луч с проволокой более точно и быстро. Новая разработка также не требует сложного оборудования и может работать в широком интервале режимов процесса. Созданный учеными датчик, по расчетам, позволит сэкономить 5-10% металла²⁷.

²⁶ <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/7/1766>

²⁷ <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/905078>



Раздел «Технологии для повышения качества жизни»

➤ Дешевый и точный детектор для обнаружения взрывчатых веществ

Группа российских ученых из НИЯУ МИФИ разработала новый вид детектора, отслеживающего нитросоединения (тротил, нитробензол и нитронафталин), которые используются для создания взрывчатки. Это устройство поможет повысить уровень безопасности в метро, аэропортах, на железнодорожных вокзалах и различных видах производства.

Приезжая на вокзал или в аэропорт, в обязательном порядке необходимо пройти проверку. Помимо этого, приезжающих проверяют на следы токсичных и взрывчатых веществ. Сейчас есть два вида детекторов. Первый основан на ионно-подвижной спектроскопии — устройство всасывает в себя окружающий воздух и по скорости движения ионов определяет, какие вещества в нем содержатся и в каком количестве. Подобные аппараты дают быстрый отклик, но весьма дорогостоящие и сложные в использовании. Второй подход — метод флуоресцентного тушения, который определяет интенсивность свечения ионов при контакте с особым светящимся соединением. Чем меньше уровень свечения, тем больше концентрация взрывчатого вещества. Детекторы, использующие этот метод, нестабильны и менее чувствительны. Несовершенство существующих технологий подтолкнуло ученых МИФИ к поиску нового подхода, который сочетал бы в себе приемлемую стоимость и высокое качество анализа.

В результате удалось разработать прототип детектора взрывчатых веществ, принцип работы которого еще не использовался в аппаратах. Все начинается с забора воздуха насосом, после этого он попадает в испаритель, где при температуре 80°C из него выделяются пары тротила или других нитросоединений. Затем пары отправляются в реактор, и при температуре 450°C происходит разложение вещества на составные элементы, такая реакция называется пиролизом. В результате получается диоксид азота NO₂, концентрацию которого фиксирует специальный датчик. Помимо обнаружения взрывчатых веществ в воздухе, прототип может определять их следы на различных поверхностях. Для этого на аппарат устанавливается специальный модуль, который улавливает не пары, а твердые следы нитросоединений. Весь последующий процесс остается неизменным. Как показали испытания, детектор определяет концентрацию вещества за 3 секунды, после этого ему потребуется около 3 минут на очистку.

На сегодняшний день ученые разрабатывают миниатюрную версию аппарата. Сейчас он представляет собой коробку примерно 30×30×30 см. Авторы планируют сделать его меньше ручного пылесоса²⁸

➤ Новый пористый материал

²⁸ <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/5/1514/htm>

Как правило, большая часть растительной биомассы состоит из двух типов сахаристых полимеров – целлюлозы и лигнина. Первую можно легко разложить различными микробами и грибами, ее широко используют в промышленности в самых разных целях, в том числе для производства бумаги и множества химических реагентов. При этом лигнин, напротив, разлагать и обрабатывать очень сложно. Более того: затруднительно даже выделить из его растительной ткани, не повреждая ее при этом. Поэтому после переработки очередной партии растительной биомассы промышленники обычно сжигают лигнин. Вдобавок, он мешает производить биотопливо, из-за чего химики и биологи активно ищут пути его удаления из биомассы.

Российские ученые из Института химии твердого тела и механохимии СО РАН (Новосибирск) придумали, как это сделать. Они изучали то, как биомасса из стеблей и листьев обычного тростника (*Phragmites australis*) реагировала на механическую обработку, заморозку или нагрев.

Во время этих экспериментов ученые помещали кусочки биомассы в холодильник, в котором поддерживалась температура в $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, или же отправляли ее в печь, где растительные останки прогревались до температуры в 100 или $196\text{ }^{\circ}\text{C}$, после чего размалывали их и изучали химический состав и структуру.

Опыты показали, что нагрев биомассы до высоких температур позволяет достаточно просто и быстро удалить весь лигнин из клеточных стенок. Это происходит благодаря тому, что внутри них образуются крупные поры и скопления этого биополимера "плавятся". В результате листья и побеги тростника превращаются в очень пористый материал, который можно применять для самых разных целей.

Благодаря заморозке биомассы и ее последующему измельчению можно быстро разрушать молекулы лигнина и целлюлозы с помощью различных катализаторов и ферментов. Это делает производство биотоплива и различных реагентов эффективнее. Как надеются ученые, оба этих подхода найдут свое место в биохимической промышленности²⁹.

➤ **Разрушающийся под действием ультрафиолетового света полимер**

Химики из Корнеллского университета разработали новый полимерный материал, который обладает большой прочностью, но при этом достаточно быстро разрушается при действии ультрафиолетового излучения.

«Мы создали новый пластик, который обладает достаточной прочностью, чтобы делать из него инструменты для морского промысла. Если такие вещи попадут в океан, то за относительно небольшое время он разрушится под действием ультрафиолета, — говорит профессор Корнеллского университета Брайс Липински. — Этот материал в перспективе может уменьшить все возрастающее накопление пластика в окружающей среде».

Коммерческий промысел, согласно данным исследователей, способствует появлению примерно половине всех плавающих на поверхности воды пластиковых отходов, которые в конечном итоге попадают в океаны. Рыболовные сети и канаты в

²⁹ <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/4/995/htm>

основном изготавливаются из трех видов полимеров: изотактического полипропилена, полиэтилена высокой плотности и нейлона-6,6, каждый из которых разлагается очень долго. Хотя в последние годы исследованию разлагаемых пластмасс уделяется большое внимание, получить быстродеградируемый материал с высокой механической прочностью до сих пор не удавалось.

Авторы новой работы потратили 15 лет на работу над полимером — изотактическим полипропиленоксидом, или ИППО. Он был открыт еще в 1949 году, но его прочностные параметры и возможность разложения под действием ультрафиолета до сих пор не были известны. При обычном применении ИППО стабилен, но при воздействии ультрафиолетового света способен разрушаться. Визуально, по словам ученых, может показаться, что материал не сильно изменился после облучения, но лабораторные анализы говорят совсем другое. Скорость деградации зависит от интенсивности света, но в лабораторных условиях длина полимерной цепи деградирует до четверти своей первоначальной длины после месяца действия излучения. Однако исследователи не хотят останавливаться на достигнутом. Они планируют усовершенствовать материал так, чтобы при разложении он совсем не оставлял следов искусственных соединений в окружающей среде³⁰.

➤ Простая и доступная технология получения биотоплива из древесной щепы

Ученые из Физического института имени П.Н. Лебедева РАН совместно с коллегами из МГТУ имени Н.Э. Баумана исследовали новую технологию торрефикации (обжига) биомассы. Ее применение может помочь преодолеть проблемы, возникающие при использовании традиционных способов получения биотоплива. Для этой технологии можно создать недорогие мобильные установки. Причем можно получать не только твердое биотопливо, но и ценные побочные продукты — метанол, уксусную кислоту и ряд других компонентов.

Биотопливо относится к альтернативным источникам энергии. Впрочем, к подобным источникам относят любые, которые не являются производными от классических ископаемых углеводородов — природного газа и нефти. Уже в прошлом году объемы мирового потребления топливных гранул (пеллет) превысили 52 миллиона тонн. Основной покупатель российского биотоплива — Дания, на втором месте находится Швеция. Кроме того, отечественные пеллеты экспортируют в Нидерланды, Финляндию, Германию, Южную Корею и ряд других стран. Топливные гранулы, как и топливные брикеты, производят из опилок, других древесных отходов, шелухи подсолнечника, соломы. Растительная масса помещается в особые установки, где происходит измельчение: получается практически мука из отходов растительного производства. Эта масса поступает в сушилку, где выпаривается жидкость. Именно этот процесс подготавливает массу к качественной прессовке в гранулы или брикеты. Однако такая продукция имеет ряд недостатков, от которых можно избавиться, если обработать сырье. Это может быть торрефикация — процесс «мягкого» обжига биомассы, который осуществляется при температуре 200–320 °С в течение 30–90 минут.

³⁰ <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.0c01768>

Роль минерального наполнителя в исследовании ученых выполнял тальк. Результаты показали, что при низких температурах обжиг идет в кинетическом режиме — скорость процесса в основном ограничивается температурой в реакторе. А при повышенных температурах — в диффузионном, когда выход массы в основном зависит от интенсивности проникновения кислорода и паров воды через минеральный слой. Исследователи изучили свойства полученного биотоплива. Оказалось, что по характеристикам оно близко к углю. В связи с этим последний может быть заменен на биотопливо без модернизации оборудования на существующих теплоэнергетических установках, что существенно упрощает внедрение технологии в промышленность. Существенный недостаток древесины при ее непосредственном использовании в качестве топлива — способность поглощать влагу из окружающей среды. Авторы работы показали, что можно сделать не впитывающее влагу биотопливо, если обжигать древесину в слое минерального наполнителя.

Использование ископаемого топлива сильно вредит экологии, а потому возобновляемая энергетика на основе биомассы привлекает все большее внимание. Пока ее применение в промышленности сильно ограничено как свойствами самого биотоплива, так и экономической целесообразностью его синтеза³¹.

➤ **Керамический топливный элемент на бутане**

Керамические топливные элементы — это высокотемпературные топливные ячейки, которые работают при температуре более 800 °С. Эта высокая температура позволяет использовать недорогие катализаторы, такие как никель, в отличие от низкотемпературных топливных элементов, таких как полимерные электролитные ячейки, которые используют дорогостоящие платиновые катализаторы. Еще одним важным преимуществом высокотемпературных топливных элементов является то, что они могут использовать различные виды топлива, а не только чистый водород. Например, в них можно загрузить сжиженный газ, при этом из-за большой эффективности при его использовании в топливном элементе будет наблюдаться меньше выбросов, чем при традиционном сжигании.

Однако, как это ни парадоксально, несмотря на то что высокотемпературные топливные элементы используют недорогие катализаторы, их эксплуатация требует дорогостоящих тугоплавких материалов и технологий изготовления. Еще одним сдерживающим фактором является то, что процесс включения-выключения таких систем занимает довольно много времени из-за особенностей эксплуатации. Это ограничивает их применение в крупномасштабных стационарных системах выработки электроэнергии.

Многие ученые по всему миру в последнее время старались создать тонкопленочные керамические топливные элементы, которые могут работать при низких температурах без потери производительности. Проблема заключается в том, что более низкая температура эксплуатации приводит к тому, что керамические топливные элементы теряют одно из своих важных преимуществ — способность использовать различные виды топлива.

³¹ <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.9b04..>

Исследовательская группа из Корейского института науки и техники смогла решить эту проблему с помощью включения в схему высокопроизводительных вторичных тонкопленочных катализаторов. Чередую слои основного и вторичного катализаторов, исследователи смогли эффективно распределить вторичный катализатор в такой области электрода, чтобы она была ближе всего к электролиту. Это позволило не только повысить эффективность преобразования топлива, но и удешевить производство из-за экономного использования катализаторов.

Используя эту процедуру, исследователи смогли успешно внедрить вторичные катализаторы, известные своей высокой каталитической активностью при низких температурах, такие как палладий, рутений и медь, в наноструктурные топливные электроды. Ученые подтвердили высокую эффективность работы новых тонкопленочных керамических топливных элементов при средних и низких рабочих температурах (500–600 °С) и при использовании в качестве топлива бутана — доступного и относительно дешевого газа. Открытие позволит разработать небольшие источники энергии на основе керамических топливных элементов, которые могут применяться в портативных и мобильных источниках питания³².

➤ Необычные соединения никеля с циклобутadiеном

Исследователи из Института элементоорганических соединений РАН (ИНЭОС РАН) им. А.Н. Несмеянова сумели получить очень интересные соединения. Комплексы никеля с неустойчивым циклобутadiеном были получены с помощью 2+2-сочетания двух молекул ацетиленов на атоме металла.

Циклобутadiен – цикл из четырех атомов углерода с двумя двойными связями – привлекал внимание химиков ещё с начала двадцатого века, поскольку он являлся простейшим аналогом бензола и должен был подтвердить теорию ароматической стабилизации. Но многочисленные попытки синтеза циклобутadiена более чем 50 лет оставались безуспешными. В 1962 году он был впервые получен немецкими химиками в виде комплекса с атомом никеля, который удерживает молекулу от быстрого разложения. Однако недоступность и токсичность исходных реагентов затрудняла дальнейшее исследование этих необычных соединений – они так и остались научной диковинкой.

В своей разработке российские химики предложили значительно более простой синтез циклобутadiеновых комплексов никеля с помощью 2+2-сочетания двух молекул дешевого диэтилацетиленов с бромидом никеля в присутствии металлического магния и этанола. Роль последних так и осталась загадкой – магний и этанол не участвуют в формальном уравнении реакции, но без них целевой продукт не образуется.

Ученые надеются, что доступность циклобутadiеновых комплексов позволит использовать их в качестве катализаторов ценных органических процессов³³.

➤ Таблица Менделеева в кварцевом стекле

³² <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/.../S0926337319310951>

³³ <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/D..>

Исследователи из РХТУ им. Д.И. Менделеева создали изображение таблицы Менделеева размером 3,6 x 2,4 мм в кварцевом стекле. Для этого использовали метод фемтосекундной лазерной записи, перспективный для технологий сверхплотного хранения данных в стекле.

Почти 95% всех стекол — силикатные. Они изготавливаются из сырья, главный компонент которого — оксид кремния. Но кроме него в стеклах встречается почти вся таблица Менделеева. Для придания стеклу нужных свойств (например, прочности, химической стойкости или цвета) в него включают оксиды натрия, алюминия, бора, кальция, хрома и так далее.

Новое исследование российских ученых отражает это богатство элементов в виде миниатюрной таблицы Менделеева, выгравированной в толще стекла. Сделать это удалось благодаря использованию фемтосекундных лазеров, которые испускают очень короткие импульсы света. Такие импульсы, хоть и длятся очень мало, но имеют высокую интенсивность излучения, что позволяет точно менять структуру материала. Авторы новой работы воспользовались фемтосекундным лазером для создания внутри кварцевого стекла нанорешеток, обладающих свойством двулучепреломления. Благодаря этому внутри стекла и появляется интерференционная окраска. Цветом полученного узора можно управлять, изменяя интенсивность лазерного излучения и последовательно нанося слои нанорешеток друг на друга. Исследователи из РХТУ изменяли эти параметры от одной ячейки таблицы к другой, что позволило сделать их цветными. Но в обычный оптический микроскоп разглядеть их нельзя, и все ячейки окрашены только в разные оттенки коричневого цвета. Увидеть всю гамму можно, только если в микроскоп вставить скрещенные поляризаторы. Ученые создали шесть основных типов элементов (щелочные металлы, инертные газы и др.) в шести разных оттенках коричневого и голубого.

Общий размер таблицы получился 3,6 x 2,4 мм — ее можно поместить на кончике ногтя. Каждая ячейка с химическим элементом оказалась размером всего 200 x 200 микрометров. Одно из важных преимуществ такой «татуировки» на стекле — ее термическая устойчивость. Эксперименты показали, что нагрев до 900°C и резкое охлаждение стекла не влияют на изображение записанной таблицы. Это значит, что такой метод позволяет надежно хранить информацию долгие годы, защищая ее от негативных воздействий³⁴.

➤ Долговечные материалы для поглощения загрязнителей воздуха

Российские химики вместе с коллегами из Китая и Италии создали три материала, которые позволяют улавливать из воздуха углекислый газ и канцерогены. Новые соединения оказались гибкими и высокоэффективными, а также способными к многократному растворению и перекристаллизации.

Поглотители углекислого газа и летучих ароматических веществ используются во многих областях промышленности, включая пищевую и нефтехимическую. Там они помогают очищать воздух в помещениях от ядовитых соединений и понижать количество

³⁴ <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.20..>

углекислого газа в атмосфере. Используемые сегодня материалы способны значительно увеличиваться в размерах благодаря множеству водородных связей между их молекулами.

В более ранних работах ученые синтезировали десять различных вариаций фильтров, которые, однако, нельзя применять в промышленности из-за их дороговизны или недостаточной адсорбционной способности при работе в больших помещениях. Основная проблема этих устройств связана не с их химическим составом, а с геометрией — молекулы-поглотители имеют неудобную неплоскую треугольную конформацию, похожую на искаженные шестиугольники. Она подходит для образования поры, но адсорбционные свойства материала при этом оказываются недостаточными.

Ученые придумали как решить эти проблемы. В результате синтеза, длившегося неделю при температуре 60–90 °С, исследователи получили три материала, которые состоят из одного и того же строительного блока НЗТАТВ и отличаются по строению. Образцы, полученные из этилового и изопропилового спиртов, имели открытые поры разных размеров, а у полученного из смеси этилового спирта и воды оказались только закрытые поры. Вещества с таким составом создавались и раньше, но исследователи выяснили, что при нагреве материала можно получить новый, более устойчивый и эффективный фильтр.

Главное преимущество разработки российских исследователей — ее доступность и способность к полному возобновлению адсорбционных свойств. Новые материалы можно растворить и кристаллизировать заново бесконечное количество раз, обновляя работоспособность. Анализ материала показал, что по сложности плетения молекулярных «сеток» и адсорбционным параметрам изобретенные учеными поглотители являются лучшими в мире. Несмотря на то что фильтр не имеет рекордной емкости, его высокая стабильность в воде и других растворителях, способность к поглощению большого количества паров бензола и регенерации перевешивают этот небольшой недостаток. В будущем исследование ученых поможет найти наиболее рациональный материал для очистки воздуха от углекислого газа и канцерогенных ароматических веществ³⁵.

➤ **Создан самый тугоплавкий на сегодня материал**

Российские исследователи создали материал, который имеет самую высокую температуру плавления среди всех известных на данный момент веществ. Новое соединение авторы планируют использовать в качестве конструкционного материала для ракетостроения.

Аэрокосмическая отрасль движется вперед, из-за чего требования к конструкционным материалам летательных аппаратов возрастают. Ракеты должны быть быстрыми, износостойкими, при этом стоимость их производства должна снижаться. В связи с этим исследователи со всего мира стараются разработать многоразовые ракеты-носители наподобие аппаратов SpaceX.

Теперь исследователи из Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН и НИТУ «МИСиС» представили материал, имеющий рекордно высокую температуру плавления и хорошие механические свойства. Для создания

³⁵ <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.0c02406>

термостойкой керамики исследователи протестировали несколько составов карбонитрида гафния (HfC_xNy), так как ранее другие ученые, используя метод молекулярной динамики, предсказали, что это соединение будет иметь высокую теплопроводность, устойчивость к окислению и самую высокую температуру плавления среди всех известных соединений — около $4200\text{ }^\circ\text{C}$.

Однако на сегодня точную температуру плавления нового материала выше $4000\text{ }^\circ\text{C}$ определить не удалось из-за трудностей воссоздания таких температурных нагрузок в лабораторных условиях. В будущем исследователи планируют провести измерения температуры плавления методом высокотемпературной пирометрии при плавлении лазером или электрическим сопротивлением³⁶.

➤ **Предложен новый метод синтеза керамической ткани**

Российские исследователи придумали новый метод получения карбидкремниевой ткани. Материал играет роль армирующего компонента для работы в условиях высоких температур и повышенного механического воздействия. Такая ткань может использоваться, например, в элементах газотурбинного двигателя.

Сегодня для упрочнения композитов применяются различные волокнистые материалы. Чаще всего это углеродные волокна, ткани и нанотрубки. Их производство не требует больших затрат, кроме того, углеродные волокнистые материалы обладают высокими физико-химическими и прочностными свойствами. Однако такие материалы могут эксплуатироваться только при температурах ниже $800\text{ }^\circ\text{C}$.

Карбидкремниевые ткани — один из перспективных армирующих материалов, которые увеличивают рабочую температуру. Такие соединения способны выдерживать нагрев выше $1500\text{ }^\circ\text{C}$ на воздухе. Но из-за технически сложного и энергозатратного процесса в России их почти не производят. Ученые из Института металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН совместно с коллегами из Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН придумали новый метод синтеза таких тканей, который лишен недостатков, мешающих его промышленному производству.

Исследователи предложили новый способ синтеза карбидкремниевой ткани с помощью силицирования углеродной ткани парами монооксида кремния. Авторы проанализировали полученные ткани и подтвердили полный переход из углеродного в карбидкремниевое волокно. Прочность волокна SiC на разрыв составила 1500 МПа .

Затем каждое отдельное волокно толщиной в несколько микрон ученые исследовали на микротвердость. Для этого тончайшую алмазную пирамидку вдавливали в исследуемый образец и определяли по оставшемуся отпечатку твердость волокна. Авторы показали, что такие волокна карбида кремния имеют высокую твердость и могут применяться в качестве армирующего материала³⁷.

➤ **Новый вид топлива для баллистических ракет**

³⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S02>.

³⁷ <https://www.sciencedirect.com/.../artic.../pii/S0272884220310749>

Заставить баллистические ракеты быстрее достигать конечной точки полета поможет разработка химиков Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, которая была создана совместно с Институтом общей химии и Институтом элементоорганической химии РАН. Ученые разработали новые гибридные вещества для ракетного топлива с необычными параметрами горения, ускоряющими этот процесс в два раза.

В качестве катализаторов (или высокоэнергетических добавок) сегодня используется много веществ. Однако почти у всех есть свои минусы: у одних веществ, с высокой скоростью горения, может быть малая устойчивость к внешним воздействиям, то есть они могут быть небезопасными при хранении и транспортировке, а у других, к примеру, у октогена или гексогена при имеющейся стабильности может не хватать как раз скорости горения. Таким образом сложно создать добавку, которая бы повышала эффективность самого топлива.

Ученые в своем исследовании поставили себе задачу создать такие вещества, которые в качестве катализаторов помогали бы топливу быстро гореть и при этом были бы устойчивыми и безопасными. По итогам, они получили стабильное вещество, как октоген, но одновременно с удвоенной скоростью горения. Новый катализатор состоит из двух азотосодержащих групп – фуразановой и триазолотетразиновой.

Зафиксировать скорость горения в лаборатории исследователям удалось необычным способом. Они поместили созданное вещество в прозрачные трубки и при помощи специальных приборов - тонких термопар, заглянув, по сути, в сердце самого пламени, измерили, как изменялась температура в трубках со временем. По словам специалистов РХТУ им. Д.И. Менделеева, возможность подобных тонких измерений скорости горения есть только у нескольких научных групп в мире.

Кроме ускорения полета ракет, полученное вещество может использоваться в газогенераторах, к примеру, для управления движущимися объектами в космосе³⁸

➤ **Новый фотокатализатор для расщепления воды**

На сегодняшний день существует глобальная проблема связанная с выбросом парниковых газов, исследователи ищут альтернативы сжиганию бензина в автомобилях, так как именно этот фактор вносит значительный вклад в выбросы углекислого газа. Одна из основных областей исследований связана с заменой бензина в автомобилях водородом. При сгорании этого газа не выбрасывается никаких парниковых газов. Однако применение водородной энергетики пока что экономически невыгодно.

В новой работе исследователи по-новому взглянули на использование титаната стронция — перспективного фотокатализатора. Еще с конца 1970-х годов ученые знали, что его можно использовать для фотокаталитического разделения молекул воды, но до сих пор не могли найти наиболее экономичный путь его использования. В новой работе физики из Японии предложили несколько подходов для решения этой проблемы.

Во-первых, ученые подавили рекомбинацию зарядов внутри материала за счет повышения кристалличности и уменьшения числа химических дефектов в

³⁸ <https://www.sciencedirect.com/.../ar.../abs/pii/S001021801930558>

кристаллической решетке. Во-вторых, ученые использовали селективное осаждение со-катализаторов на гранях кристаллов для дополнительного подавления рекомбинации зарядов. В-третьих исследователи предотвратили нежелательные побочные реакции, покрыв родиевый со-катализатор защитным кожухом из соединения хрома.

Сочетание всех этих улучшений в методике привело к более высокому внешнему квантовому выходу (доля фотонов, поражающих реакцию, которую фотокатализатор может использовать для разделения молекул воды). Авторам удалось достичь значения этого показателя в 96% при использовании новой методики при облучении. Однако исследователям требуется еще усовершенствовать свою методику, прежде чем ее можно будет использовать в реальных условиях³⁹.

³⁹ <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2278-9>



Раздел «Энергетика»

➤ **Экономичный «зеленый» суперконденсатор**

Ученые из Сколковского института науки и технологий, Университета Аалто и Массачусетского технологического института разработали недорогой и экологически безопасный суперконденсатор, обладающий высокой производительностью. Он найдет применение в области «носимой» электроники.

Суперконденсаторы — это устройства, имеющие высокую удельную мощность, скорость зарядки-разрядки и долгий срок службы. Многие из них также достаточно бюджетны в производстве. Суперконденсаторы — один из перспективных источников питания для большого количества сфер — от мобильной и «носимой» электроники до электромобилей. Однако создать такое устройство, которое одновременно имело бы высокую удельную энергоемкость, безопасность, а также подходило бы для небольших устройств, ученым до сих пор не удавалось.

«Чтобы повысить удельную энергоемкость суперконденсаторов, обычно применяют ионные жидкости. Эти соединения не только представляют опасность для экологии, но и существенно уступают по удельной мощности водным электролитам с более высокой проводимостью», — рассказывает одна из авторов статьи.

Авторы новой работы придумали решение этой проблемы. Для этого они создали твердотельный материал на основе пластинчатых электродов из графена, легированного азотом. Его исследователи помещали в гидрогелевый электролит, содержащий раствор хлорида натрия. Полученную структуру авторы расположили между двумя токоъемниками из пленок однослойных углеродных нанотрубок. Благодаря этому исследователи сделали суперконденсатор более эластичным. Гидрогель позволил увеличить удельную энергоемкость устройства при использовании экологически чистого водного электролита.

Новое устройство имеет высокую объемную емкость, удельную мощность и энергоемкость по сравнению с аналогичными суперконденсаторами, созданными ранее. «Производительность нашего прототипа не менялась даже после тысячи циклов растяжения при деформации. Чтобы снизить стоимость и повысить экологичность суперконденсатора, в качестве электролита мы выбрали обычный раствор хлорид натрия. Стоимость этого устройства можно снизить еще сильнее, если использовать 3D-печать и другие современные производственные технологии», — резюмировал один из авторов исследования, профессор Сколтеха Альберт Насибулин ⁴⁰.

➤ **Тонкопленочный электрод для миниатюрных аккумуляторов**

⁴⁰ <https://www.sciencedirect.com/.../abs/pii/S2352152X20308719...#!>

Для создания миниатюрных устройств, таких как биосенсоры, датчики, «умные часы», и устройств Интернета вещей (IoT) необходимы источники питания малого размера и настраиваемой формы, которые имеют высокую плотность хранения энергии. При этом существующие сегодня литий-ионные батареи не способны к дальнейшей миниатюризации. Поэтому для такой цели необходимо разработать новые устройства хранения энергии.

Поддержанные грантом Российского научного фонда исследователи показали, что помочь создать миниатюрные электроды может метод молекулярного наслаивания. Исследователям из Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Физико-технического института имени А. Ф. Иоффе РАН удалось получить никелат лития и точно задать его толщину. Авторы показали работоспособность и высокие емкости нового материала. Это может улучшить работоспособность и эффективность устройств с катодом из такого материала, а также уменьшить их размер.

По словам исследователей, тонкопленочные положительные электроды на основе никелата лития и литированные смешанные оксиды с повышенным содержанием никеля могут в будущем стать основой эффективных твердотельных аккумуляторов. Такие устройства будут безопаснее используемых сегодня аккумуляторов благодаря отсутствию жидкого электролита⁴¹.

➤ Улучшенные калий-ионные аккумуляторы

Российские ученые из Института общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН совместно с коллегами из Израиля и Австралии получили материал на основе восстановленного оксида графена и сульфида сурьмы и протестировали его в качестве анода калий-ионного аккумулятора — перспективного аналога используемых сейчас литий-ионных.

Сегодня мы не можем представить свою жизнь без смартфонов, ноутбуков и других гаджетов, работающих без подключения к электросети и получающих энергию от литий-ионных аккумуляторов. Количество таких устройств ежегодно растет, кроме того, пользователи нуждаются в более энергоемких источниках энергии, которые позволят им работать дольше без подзарядки. Однако запасы лития в земной коре уменьшаются, а отработавшие свой ресурс аккумуляторы утилизируются неэффективно. Это приводит к постепенному удорожанию литиевого сырья. Разработка аналогов на основе, например, натрия и калия поможет создать более дешевые и мощные источники энергии. Преимущество калий-ионных аккумуляторов заключается в высокой проводимости калийсодержащих электролитов, но сейчас такие источники энергии находятся на стадии лабораторных исследований.

Основными компонентами металл-ионных аккумуляторов являются два электрода (катод и анод), разделенные пористым сепаратором. Во время работы аккумулятора катионы лития, натрия или калия поступают из материала анода в материал катода через электролит, который заполняет корпус аккумулятора. Во время зарядки происходит обратный процесс.

⁴¹ <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/9/2345>

Емкость электродных материалов, и, в конечном итоге, всего аккумулятора зависит от количества ионов металла, которые могут обратимо присоединять и отдавать материалы анода и катода. В литий-ионных аккумуляторах в качестве анода часто используют графит, благодаря его свойству обратимо включать литий между слоями углерода. Калий, как и литий, в отличие от натрия, тоже взаимодействует с графитовым анодом, однако в настоящий момент ведется поиск материалов, которые обладают более высокой электрохимической емкостью и устойчивостью в ходе повторяющихся циклов заряда-разряда.

В процессе исследования ученые получили новый материал на основе сульфида сурьмы и восстановленного оксида графена и изучили его свойства в качестве анода в калий-ионном аккумуляторе. Материал был получен пероксидным методом, разработанным ранее в лаборатории пероксидных соединений и материалов на их основе Института общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН. Метод заключается в самоорганизующемся равномерном осаждении частиц пероксокомплекса сурьмы на поверхности листочков оксида графена из водно-пероксидного раствора. После обработки материала сероводородом и последующей термической обработки формируется кристалл сульфида сурьмы на поверхности подложки. Результаты электрохимических исследований показали возможность использования материала в качестве анода калий-ионного аккумулятора. Полученные материалы обладают более высокой энергоемкостью. Следующим этапом исследования может стать тестирование прототипов новых источников энергии с разной концентрацией полученного материала⁴².

➤ **Новый способ создания перовскитных солнечных элементов**

Сегодня кремниевые солнечные батареи достигли предельных значений их эффективности и минимизации стоимости производства. В связи с этим на фоне общемирового запроса на разработку новых более дешевых и эффективных альтернативных источников энергии ученые всего мира ведут активный поиск принципиально новых материалов для солнечной энергетики. Гибридные органо-неорганические перовскиты являются одним из немногих уникальных материалов, которые в будущем могут помочь человечеству сделать солнечную энергию по-настоящему доступной. Солнечные элементы на их основе — так называемые перовскитные солнечные элементы — буквально за 10 лет с момента их изобретения обогнали поликристаллический кремний по КПД. При этом перовскитные солнечные элементы потенциально могут быть изготовлены из доступных материалов значительно более дешевыми методами.

Сейчас одной из задач перовскитной фотовольтаики на пути к коммерциализации является разработка новых методов для получения пленок гибридных перовскитов большой площади. Еще один шаг в этом направлении сделали молодые ученые из лаборатории новых материалов для солнечной энергетики факультета наук о материалах МГУ. Исследователи разработали новый подход для производства перовскитных солнечных элементов большой площади с помощью нанесения спиртовых растворов реакционных органических полигалогенидов на пленки металлического свинца.

⁴² <https://pubs.rsc.org/.../c.../articlelanding/2020/ta/d0ta03555f...>

В отличие от классических методов получения гибридных перовскитов в данном подходе не используются токсичные растворы солей свинца в органических растворителях, а кристаллизация высококачественных пленок значительно ускоряется и упрощается за счет использования уникального прекурсора — растворов реакционных полигалогенидов, которые были открыты в 2016 году в лаборатории новых материалов для солнечной энергетики ФНМ МГУ.

"В ходе исследований реакционной способности растворов органических полигалогенидов нами были разработаны жидкие реакционные чернила, нанесение которых на металлический свинец позволяет контролируемо получать высококачественные пленки гибридных перовскитов в широком диапазоне составов. С использованием данного масштабируемого подхода нами были изготовлены планарные перовскитные солнечные элементы с КПД более 17%, и в дальнейшем мы планируем развивать данную технологию для получения высокоэффективных перовскитных солнечных модулей увеличенной площади, что, в свою очередь, позволит расширить перспективы их дальнейшей коммерциализации," — рассказал руководитель исследования Алексей Тарасов, кандидат химических наук, заведующий лабораторией новых материалов для солнечной энергетики факультета наук о материалах МГУ⁴³.

➤ Эффективный водородный аккумулятор

Исследователи из Национальной лаборатории Айдахо разработали новый электродный материал для электрохимической ячейки, которая использует избыточную электроэнергию для эффективного производства водорода из воды. Когда спрос на электроэнергию увеличивается, электрохимическая ячейка начинает работать в обратную сторону и превращать водород в электроэнергию.

Многие альтернативные источники энергии, такие как солнечные панели и ветряные электростанции, могут производить достаточно электроэнергии, чтобы питать небольшие поселения и даже города. Однако у них есть существенная проблема, связанная с непостоянством поступления энергии. Ведь Солнце светит не 24 часа в сутки, а скорость ветра может ощутимо меняться день ото дня. Поэтому для таких электростанций необходимы большие массивы устройств, сохраняющих электроэнергию.

Хранение электрической энергии в традиционных аккумуляторах сталкивается с множеством проблем, одна из которых — существенные потери в виде тепла, поступающего в окружающую среду, а вторая — небольшая плотность хранения, из-за чего даже при небольшой электростанции приходится строить огромный массив аккумуляторных батарей, сравнимый по стоимости с энергоустановками.

Американские исследователи теперь предложили альтернативное решение этой проблемы. Они создали устройство, сохраняющее электроэнергию благодаря использованию водорода. Чтобы сделать это, ученые усовершенствовали один из типов электрохимической ячейки — протонную керамическую электрохимическую ячейку (PCEC).

⁴³ <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssami.0c02492>

Ранее такие устройства считались не очень перспективными, так как их рабочая температура была около 800 °С. Такие высокие температуры требуют дорогостоящих материалов и приводят к их более быстрой деградации, что делает стоимость электрохимических элементов непомерно высокой. Авторы новой работы разработали новый материал для электродов такой ячейки. Он представляет собой перовскит состава $\text{PrNi}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_{3-\delta}$. Этот проводник одновременно облегчает процессы расщепления воды и восстановления кислорода. В отличие от большинства материалов электрохимических ячеек, это соединение позволяет преобразовывать водород и кислород в электроэнергию без необходимости притока водорода извне.

При создании новой ячейки ученые создали электрод в виде сетчатой структуры с большой площадью поверхности, что повысило эффективность производства водорода и обратного процесса — превращения этого газа в воду с помощью реакции с кислородом. Применение нового материала и изменение формы электрода позволило уменьшить рабочую температуру электрохимического элемента до интервала от 400 до 600 °С. Теперь исследователи надеются усовершенствовать свое устройство, чтобы можно было вывести его на промышленный уровень⁴⁴.

➤ **Дешевые катализаторы для топливных элементов**

Водородные топливные элементы основаны на реакции между кислородом и водой, при которой происходит расщепление молекул кислорода на ионы и объединение их с протонами с образованием воды. В ходе этого процесса кроме воды образуется также энергия. В обычных условиях она полностью превращается в тепло, которое затем можно преобразовать в электричество. Однако гораздо более выгодно использовать топливные элементы, которые минуют стадию перевода энергии реакции в тепло и позволяют получать электричество непосредственно из химического процесса.

Но реакция между кислородом и водородом относительно медленная, что ограничивает эффективность топливных элементов. Чтобы ее ускорить, применяются специальные соединения — катализаторы. На сегодняшний день для ускорения такой реакции в водородном топливном элементе используются довольно дорогие катализаторы на основе платины.

Чтобы уменьшить связанные с производством этих соединений затраты, ученые Аргоннской национальной лаборатории Министерства энергетики, Северо-Западного университета и Университета Монпелье придумали соединение на основе железа, азота и углерода, которое способно ускорять взаимодействие между водородом и кислородом не менее эффективно, чем платина. Для получения катализатора ученые смешали прекурсоры, содержащие все три элемента, и нагревали их до температур от 900 до 1100°С.

После этого процесса, называемого пиролизом, атомы железа в материале связываются с четырьмя атомами азота и внедряются в плоскость графена. Каждый из атомов железа представляет собой активный центр, в котором может произойти окислительно-восстановительная реакция. Большая плотность активных центров в

⁴⁴ <https://www.nature.com/articles/s41467-020-15677-z>

материале повышает эффективность электрода. Ученые установили, что при пиролизе смеси железа, азота и углеродсодержащих прекурсоров сначала образуются азотно-графеновые участки, а затем в них вводятся атомы железа. Авторы также обнаружили, что могут создавать более высокую плотность активных центров в катализаторе, вводя сначала атомы азота в углеродную структуру, а затем атомы железа во время пиролиза⁴⁵.

⁴⁵ <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.9b11197>



Раздел «Электроника будущего»

➤ Прозрачный полупроводник

Обычно прозрачные для видимого света материалы являются изоляторами. Это, например, стекло или пластик. Однако комбинация прозрачности и проводимости была бы весьма полезной для ряда применений, включая сенсорные дисплеи и солнечные панели. В случае последних прозрачные проводящие пленки могли бы повысить их эффективность. Но до сих пор найти прозрачный материал с достаточной подвижностью носителей заряда ученым не удавалось.

Исследователи из Токийского университета смогли продвинуться вперед в решении этой проблемы. За основу нового материала ученые взяли диоксид олова SnO_2 . Это известный полупроводник, который используется еще с 1960-х годов в качестве компонентов датчиков газа и прозрачных электродов для солнечных преобразователей. Авторы нового исследования стремились сохранить полупроводниковые свойства материала при создании из него тонких пленок.

Для синтеза пленок ученые использовали метод импульсного лазерного напыления. Он заключается в испарении гранул чистого оксида олова и контролируемом осаждении паров этого соединения на подложку из оксида титана. Такой способ синтеза позволил ученым также точно допировать материал пленки другими атомами, например танталом. В результате исследователи получили образцы толщиной от 100 до 200 нанометров.

Выяснилось, что такой материал обладает высокой подвижностью и концентрацией носителей заряда при комнатной температуре. Эти параметры обеспечивают высокую проводимость и прозрачность материала⁴⁶.

➤ Эффективная система защиты данных для мобильных устройств

В мире с каждым годом растет спрос на новые системы защиты данных. Чтобы сохранить конфиденциальность информации, ее зашифровывают и хранят в таком виде. Но чтобы закодировать данные, требуются серьезные затраты вычислительных ресурсов. При использовании классических криптографических алгоритмов возникают трудности с работой мобильных устройств: батарея быстро садится, память устройства переполняется.

Исследователи из СКФУ, ЮУрГУ и МФТИ совместно с мексиканскими коллегами выяснили, как обойти эти ограничения. Новая система защиты позволяет обеспечить высокий уровень безопасности данных, потребляя при этом минимальное количество вычислительных ресурсов. При этом скорость шифрования данных увеличивается. Такого

⁴⁶ <https://www.nature.com/articles/s41598-020-63800-3>

эффекта ученые смогли добиться за счет использования искусственных нейронных сетей и модулярной арифметики.

Новая система адаптивна — ее можно оптимизировать под уже имеющуюся инфраструктуру. Например, пользователь может выбрать один критерий для адаптации системы, чтобы она подстроилась под условия среды или конкретные цели. В будущем авторы планируют предложить возможность адаптации системы сразу по нескольким критериям. Для этого им предстоит выяснить, как отдельные факторы будут влиять друг на друга.

Еще одно важное преимущество новой технологии в ее высокой надежности. Предложенный исследователями алгоритм защищен от технических сбоев⁴⁷.

➤ Уникальный двумерный материал

Материаловеды из Канады и Италии синтезировали двумерный сопряженный полимер с уникальными электронными свойствами, выходящими за рамки возможностей обычных 2D-материалов.

Цель исследователей состояла в том, чтобы разработать двумерные материалы, которые представляют собой слой толщиной в один атом и обладают дополнительной функциональностью. Таким образом исследователи стремились расширить границы исследования 2D-материалов — области, которая начала активно развиваться с открытия графена в 2004 году.

По словам исследователей, думать над созданием таких материалов они начали еще 15 лет назад. И вот теперь, спустя годы работы четырех групп исследователей, им удалось создать π -сопряженные двумерные полимеры с полупроводниковыми свойствами. Этот класс материалов очень перспективен для множества применений благодаря тому, что он сохраняет подвижность заряда и структуру связей между атомами даже при внедрении в него других молекулярных фрагментов.

До этого химики уже получали подобные материалы, но они обладали очень небольшим размером частиц и высокой плотностью дефектов. Теперь же исследователи нашли способ исправить это, предложив новый метод синтеза. В качестве основы ученые использовали твердый прекурсор азатриангулен, который наносили тонким слоем на поверхность слюды, содержащей ионы трехвалентного золота. В результате исследователи получили тонкий двумерный материал с размером пор менее двух нанометров.

Оказалось, что новый материал обладает низкой плотностью дефектов и хорошими электрическими свойствами. Кроме того, двумерный полимер оказался стабильным и слабо взаимодействующим с подложкой, что немаловажно при его синтезе и последующем использовании. Исследователи обнаружили у нового соединения полупроводниковые свойства, что делает его перспективным для применения в электронике и фотонике⁴⁸.

⁴⁷ <https://ieeexplore.ieee.org/document/9037363>

⁴⁸ <https://www.nature.com/articles/s41563-020-0682-z>

Тема номера

«Эксклюзивный доклад от научных специалистов кафедры информационных компьютерных технологий РХТУ, отображающий динамику распространения коронавируса COVID-19 в мире за последние месяцы»

Научные специалисты кафедры информационных компьютерных технологий (ИКТ) Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева на основе методов нелинейной динамики рассчитали сроки, численность заболевших к концу эпидемии, время пиков заболеваемости и численность инфицированных коронавирусом COVID-19 на пике для ряда стран

В специально подготовленном докладе в список рассматриваемых государств вошли: Португалия, Германия, Франция, Италия, Испания, Швеция, Чехия, Китай, Вьетнам, Южная Корея, Япония, Израиль, США, Россия (в том числе г. Москва и Российские регионы).

Данная работа будет интересна как научному сообществу, так и всем тем, кто сегодня пытается понять условия стремительного распространения, а также, исходя из имеющихся данных, спрогнозировать возможную опасность возникновения второй и третьей волн заболевания в будущем.

Расчеты сделаны при показателях роста численности, соответствующих ограничительным мерам, принимаемым в странах. В случае изменения ограничительных мер или при возникновении другой волны распространения эпидемии из-за нарушения ограничительных мер требуется пересчет по математическим моделям.

Научная работа включает в себя большое количество графиков для каждой из проанализированных стран, а также отдельные расчеты для Москвы и регионов России. Графики содержат данные о росте и приросте численности, инфицированных COVID-19, времена пиков пандемии, сроки окончания пандемии.

Более подробно с исследованием ученых и представленными графиками можно ознакомиться на сайте РХТУ им. Д.И. Менделеева⁴⁹.

⁴⁹ <https://muctr.ru/news/prochie-novosti/eksklyuzivnyy-doklad-uchenykh-rkhtu-otobrazhayushchiy-dinamiku-rasprostraneniya-koronavirusa-covid-19-v-mire-za-poslednie-mesyatsy/>