

Химия в фокусе

Дайджест новостей химических институтов Российской академии наук

Новый подход к определению примесей в отходах производства магнитов

Исследователи из Института общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН разработали новую методику определения состава отходов производства самарий-кобальтовых магнитов с применением системы микроволновой пробоподготовки. Разработка позволяет ускорить процедуру анализа и определять низкие концентрации примесных элементов. Результаты работы опубликованы в журнале *Metals*.

Магнитные материалы на основе редких металлов являются одними из наиболее востребованных в оборонной и автомобильной промышленности, электронной аппаратуре, вычислительной технике. Широкая сфера применения магнитных материалов влечет за собой необходимость их рентабельной переработки. Отходы могут значительно отличаться по содержанию редких элементов и примесей, определение их химического

состава может представлять сложную аналитическую задачу.

В частности, отработанные самарий-кобальтовые магниты могут содержать различные цветные и редкие металлы, включая самарий, кобальт, железо, кремний. Диапазон концентраций элементов может варьироваться в широких пределах. В силу этого методы анализа магнитных материалов, содержащих редкие металлы, должны обладать высокой точностью, универсальностью и селективностью.

Научная группа из ИОНХ РАН впервые разработала методику определения содержания цветных и редких металлов в отработанных самарий-кобальтовых магнитах методами масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектрометрии с предварительным растворением образцов с использованием метода микроволновой пробоподготовки. Изучены и выбраны параметры микроволнового растворения

образцов, а также подобраны концентрации кислот для полного перевода основных компонентов в раствор.

Работу прокомментировала автор статьи, главный научный сотрудник Лаборатории химического анализа ИОНХ РАН, доктор химических наук Василиса Борисовна Барановская: «Комбинированное применение методов масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой позволяет определять химические элементы в широких диапазонах концентраций и обеспечивать контроль правильности полученных результатов. Метод атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой предпочтительнее в отношении основных

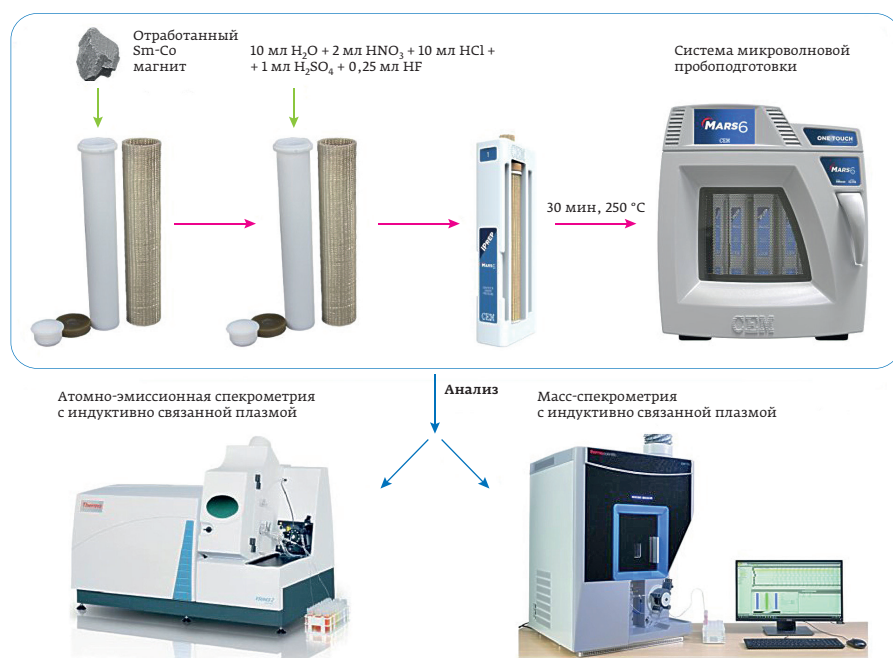


Схема проведения анализа отработанных самарий-кобальтовых магнитов

компонентов отработанных самарий-кобальтовых магнитов (самарий, кобальт, железо, кремний и т. д.), а также ряда примесей. В свою очередь метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой особенно подходит для определения низких содержаний примесных элементов. Эти два метода дополняют друг друга и могут использоваться для контроля правильности анализа. Этот аспект важен, учитывая, что стандартные образцы для отработанных самарий-кобальтовых магнитов

с аттестованными концентрациями элементов в принципе отсутствуют».

Разработанная методика может быть использована для химического анализа отработанных самарий-кобальтовых магнитов и выбора на основе полученных аналитических данных экономически и технологически рациональной схемы вторичной переработки магнитов с целью извлечения ценных компонентов.

Источник: <https://doi.org/10.3390/met12081308>

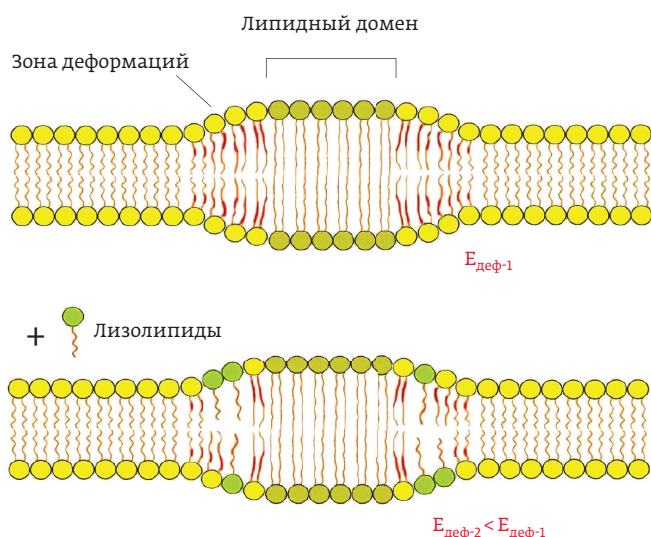
Роль лизолипидов в процессах развития нейродегенеративных заболеваний

Коллектив ученых из Института физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина РАН показал, что лизолипиды в клеточных мембранах клеток мозга могут влиять на развитие нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона, болезнь Хантингтона и боковой амиотрофический склероз.

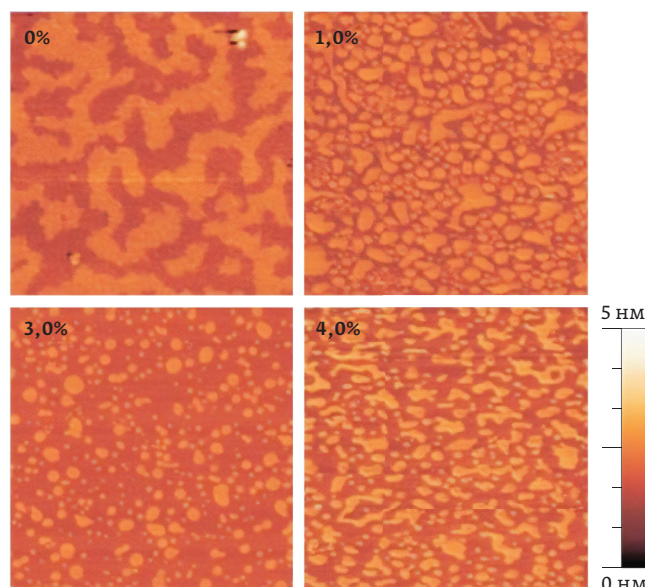
Близкая к конусообразной форма лизолипидов приводит к тому, что они собираются на границах рафтов – плотных упорядоченных скоплений липидных молекул в клеточной мембране. Тем самым лизолипиды действуют как аналог поверхностно-активных веществ и влияют на формирование и функционирование рафтов, изменение формы и размеров которых связывают с проявлениями нейродегенеративных заболеваний. Ранее ученые из лаборатории биоэлектрохимии

Института физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина РАН экспериментально доказали, что линейной активностью обладают ганглиозиды – липиды с объемной полярной частью, составляющие до 12% всех липидов нейрональных мембран. Даже незначительное количество ганглиозидов меняет процесс формирования рафтов.

В своем новом исследовании ученые пошли дальше и решили выяснить, каким образом на процесс формирования рафтов может повлиять другой тип молекул с объемными полярными группами – лизолипиды. Была предложена модель, согласно которой лизолипиды формируют монослой со спонтанной положительной кривизной, что и влияет на процесс образования рафтов.



Модель взаимодействия лизолипидов с липидными рафтами



Томограммы мембран с различным содержанием лизолипидов, полученные с помощью атомно-силовой микроскопии

Для экспериментальной проверки выдвинутых гипотез ученые использовали атомно-силовой микроскоп (АСМ). Они изучили процесс формирования липидных рафтов в биологических мембранах в присутствии лизолипидов.

Оказалось, что даже небольшие, порядка 1%, концентрации лизолипидов оказывают сильное влияние на диаметр и высоту рафтов. Степень этого влияния зависит от уровня холестерина в мембране. «Таким образом, лизолипиды регулируют формирование рафтов, в зависимости от уровня холестерина

в мембранах», – комментирует ключевой автор публикации Владимир Краснобаев.

Результаты исследования позволили подтвердить и улучшить теоретическую модель взаимодействия различных молекул с клеточной мембраной, стали новым шагом в понимании молекулярных механизмов, ответственных за развитие возрастных заболеваний.

Источник: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmolb.2022.1021321/full>

Доступные «зеленые» технологии переработки отработанных аккумуляторов

Исследователи из Института общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН разработали новые доступные технологии переработки современных литий-ионных аккумуляторов с использованием глубоких эвтектических растворителей с высокой селективностью. Впервые показана возможность применения этих альтернативных растворителей в реальных химико-технологических процессах. Результаты исследования опубликованы в журнале Processes.

В современном мире литий-ионные аккумуляторы – один из основных видов накопителей энергии. Вследствие стремительного роста производства и употребления литий-ионных аккумуляторов, возникает необходимость их переработки (рециклинга), поскольку такие батареи содержат большое количество ценных элементов (литий, кобальт, никель, марганец и др.), а также токсичных электролитов. Одним из наиболее перспективных подходов

к переработке аккумуляторов является использование нового поколения растворителей – так называемых глубоких эвтектических растворителей, обычно представляющих собой жидкую при комнатной температуре смесь двух органических веществ. Главным достоинством такого подхода является возможность тонкой настройки экстракционных свойств и, соответственно, разделения самых сложных смесей.

Химикам из ИОНХ РАН удалось реализовать на практике комплексный подход к синтезу, изучению свойств и применению глубоких эвтектических растворителей. Результаты работы прокомментировал один из авторов статьи, заведующий лабораторией теоретических основ химической технологии ИОНХ РАН, член-корреспондент РАН Андрей Вошкин: «Современные технологии переработки отработанных источников тока – это важнейшая составляющая сырьевой независимости государства, а также ключ к решению существующих

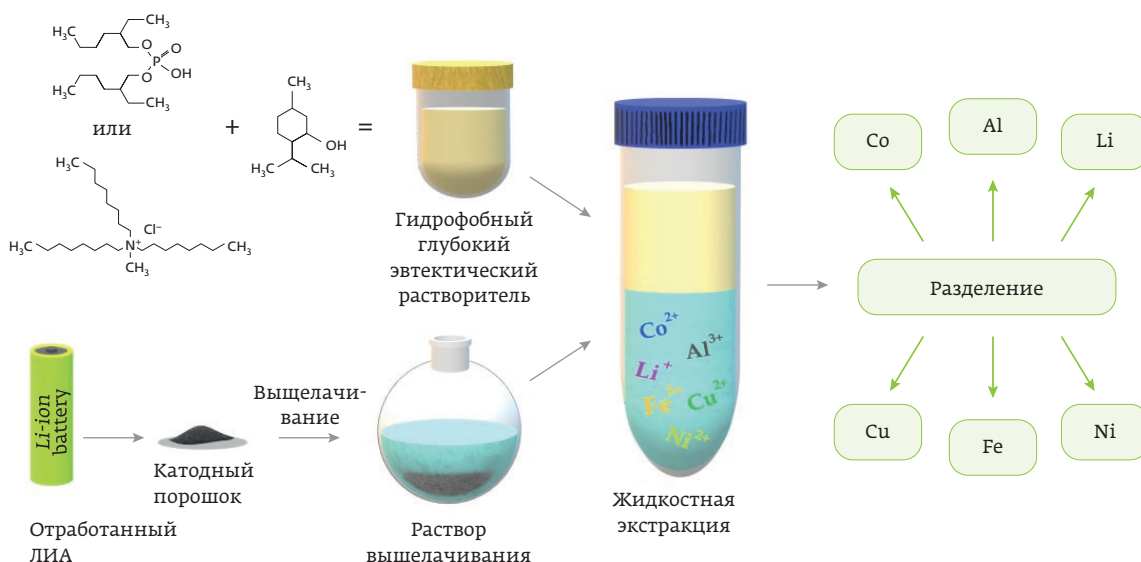


Схема выделения металлов из отработанных литий-ионных аккумуляторов

и перспективных экологических проблем, имеющих большое социально-экономическое значение. Достоинство нашего подхода заключается в сочетании фундаментальных исследований и прикладных разработок. На первом этапе работы устанавливается элементный состав и определяются наиболее рациональные схемы переработки отработанных источников тока. Далее синтезируется глубокий эвтектический растворитель, обладающий требуемыми физико-химическими свойствами и заданной селективностью по отношению к основным компонентам аккумуляторов: кобальту, никелю, марганцу, литию и др. Следующим важным этапом является подбор оптимальных параметров переработки элементов аккумулятора с использованием модельных объектов, это позволяет существенным образом ускорить разработку технологии. В рамках нашего исследования было проведено выщелачивание металлов из реальных катодных материалов литий-ионных аккумуляторов. Затем впервые в лабораторном масштабе

было реализовано полное экстракционное разделение всех металлов из полученных растворов выщелачивания с применением разработанных нами гидрофобных глубоких эвтектических растворителей на основе Aliquat 336, D2EHPA и L-ментола. После этого технологическая схема была реализована на исследовательском экстракционном оборудовании с отработкой режимов и условий процесса».

По результатам проведенной работы ученые предложили высокоэффективный химико-технологический процесс переработки катодных материалов литий-ионных аккумуляторов с использованием новых глубоких эвтектических растворителей и перспективных образцов серийного экстракционного оборудования. Данная разработка может быть использована на высокотехнологичных современных предприятиях по переработке отработанных источников тока.

Источник: <https://www.mdpi.com/2227-9717/10/12/2671>

Новый катализатор окислительной функционализации углеводов

Коллектив ученых из Института элементоорганических соединений имени А. Н. Несмеянова РАН, Российского университета дружбы народов, Института химической физики имени Н. Н. Семёнова РАН, Курчатовского института и Hebrew University (Израиль) получил необычный семиядерный комплекс меди и исследовал его каталитическую активность в функционализации углеводов пероксидами в мягких условиях.

Переработка природных нефти и газа (насыщенных углеводов, алканов) в химическую продукцию с высокой добавленной стоимостью (спирты, кетоны, кислоты) представляет собой перспективное направление современной химической технологии. По сути, этот процесс представляет собой перевод ископаемого углеводородного сырья в широкую линейку продуктов (например, полимеров и лекарственных препаратов), имеющих важное значение для развития современного общества.

При этом высокая инертность насыщенных углеводов, основных компонентов нефти и газа, делает задачу их химического превращения в функциональные производные весьма непростой. Благодаря низкой химической активности алканов их называют «благородные газы органической химии». Тем не менее, активация алканов становится возможной (даже в мягких условиях) в присутствии комплексов металлов, выступающих

в роли катализаторов. Было установлено, что высокую каталитическую активность проявляют комплексы осмия, но их широкое использование ограничено двумя существенными недостатками – соединения осмия одновременно токсичны и дорогостоящи. С другой стороны, исследование более экологичных и менее дорогих металлов показало, что, например, активность простых солей и моноядерных комплексов железа и меди достаточно низка (выходы целевых продуктов не превышают нескольких процентов). При этом активность многоядерных катализаторов в процессах функционализации углеводов значительно выше, и, таким образом, химический дизайн новых типов таких каталитических систем – актуальная задача современной химической науки.

Ученые из Института элементоорганических соединений имени А. Н. Несмеянова РАН, Российского университета дружбы народов, Института химической физики имени Н. Н. Семёнова РАН, Курчатовского института и Hebrew University (Израиль) исследовали каталитический потенциал комплексов меди, содержащих матричные элементоорганические лиганды – силсесквиоксаны.

Работу комментирует ключевой автор публикации, руководитель проекта Российского научного фонда доктор химических наук Алексей Биляченко: «Исследование новых типов высокоэффективных

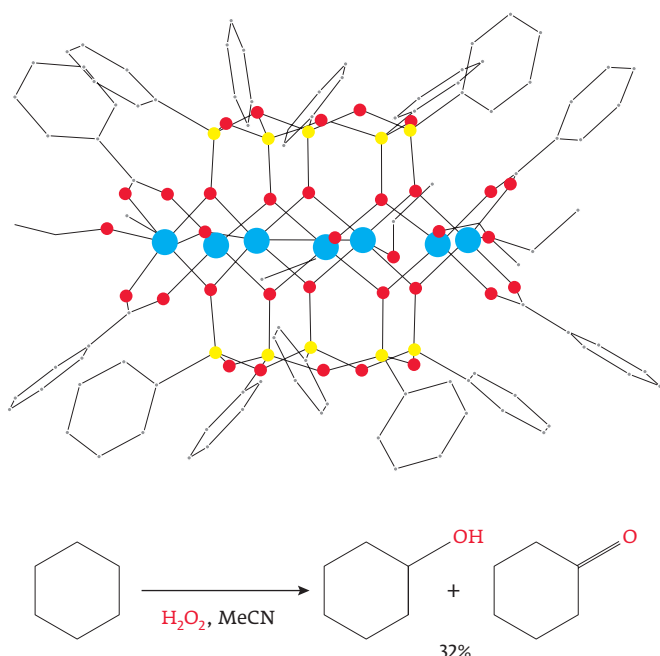


Схема реакции гомогенного окисления циклогексана, катализируемого гептаядерным комплексом меди

катализаторов для окислительной функционализации углеводородов очень актуально. В нашей научной коллаборации приняли участие специалисты различных направлений – химики занимались синтезом металлокомплексов, а физхимики изучали их строение и определяли каталитическую активность в модельной реакции гомогенного окисления насыщенного углеводорода циклогексана пероксидом водорода. Предтечей к этой работе стало получение необычного семиядерного комплекса меди

(Cu₇), содержащего уникально большое количество лигандов в каркасной структуре – сразу шесть различных типов. В этом лигандном наборе четыре компонента изначально присутствовали в реакционной смеси – это силсесквиоксанные лиганды в форме «сердца», а также пиридин, диметилформамид и вода. Еще два типа лигандов образовались в результате самопроизвольного окисления толуола (растворителя при синтезе комплекса) – это бензиловый спирт и бензойная кислота. Таким образом, было отмечено, что получаемый комплекс обладает существенной окислительно-восстановительной активностью. Однако целенаправленное тестирование этого соединения в каталитических реакциях было затруднено сложностью воспроизведения синтеза комплекса с таким экзотическим набором лигандов. В дальнейшем исследовании мы показали, что успешное получение комплекса возможно и альтернативным путем – при непосредственном использовании бензойной кислоты как исходного реагента. Синтезированный силсесквиоксан/бензоатный Cu₇-комплекс был использован в каталитических процессах гомогенного окисления циклогексана в мягких условиях (50 °С). Полученный выход продуктов окисления (32%) является довольно высоким для превращений инертных субстратов. Возможность дальнейшего направленного конструирования каркасных катализаторов за счет применения других карбоксилатных фрагментов для формирования новых комплексов указывает на значительные перспективы развиваемого направления».

Источник: <https://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2022/TB/D1TB02604F>

Текстиль, устойчивый к действию микроорганизмов в тропическом климате

Международный коллектив ученых из Института общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН, Исследовательского центра химической физики имени Н. Н. Семёнова РАН, Института молекулярной генетики Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» и Российско-Вьетнамского научно-технологического центра тропических исследований провел масштабное исследование, посвященное изучению антимикробных свойств хлопковых тканей с покрытиями из оксидов цинка и титана в тропическом климате.

Как известно, широкое использование антибиотиков в медицине и сельском хозяйстве уже привело и будет приводить к появлению новых, нечувствительных к ним бактерий, так называемых антибиотико-резистентных штаммов. Размножаясь на различных поверхностях, они могут стать причиной серьезных заболеваний растений и животных, а также человека. Поэтому создание материалов, токсичных для патогенных микроорганизмов, является крайне важной задачей. Например, антимикробные ткани можно использовать для изготовления одежды медицинского персонала или постельного белья в больницах.

Наночастицы некоторых оксидов металлов эффективно подавляют жизнедеятельность бактерий, грибов и простейших. При этом механизм их действия принципиально отличается от известных механизмов действия антибиотиков, что позволяет уничтожать даже микроорганизмы с множественной лекарственной устойчивостью. Интересным свойством таких оксидов является то, что, являясь токсичными по отношению к бактериям, они практически безвредны для клеток и тканей многоклеточных организмов. Например, для человека безвредны оксиды титана и цинка, их используют в солнцезащитной косметике и в составе некоторых пищевых добавок.

При нанесении наночастиц оксидов металлов на ткань очень важно обеспечить прочное связывание наночастиц и волокон. Для увеличения устойчивости антибактериального покрытия исследователи из ИОНХ РАН предложили использовать разработанную ими технологию ультразвуковой обработки. Высокочастотные колебания приводят к появлению в воде огромного количества очень маленьких (несколько десятков микрон) пузырьков разреженного газа. Такой эффект «закипания» воды при комнатной температуре под действием ультразвука называется кавитацией. Кавитационные пузырьки очень нестабильны, и при их схлопывании наночастицы разгоняются до высоких скоростей, проникая глубоко в волокна ткани. Такой метод обеспечивает равномерное распределение наночастиц, допускает крупномасштабное производство и обеспечивает низкую стоимость материала. В результате такой обработки потребительские качества хлопковых тканей практически не меняются, а закрепленные в волокнах наночастицы выдерживают не менее 20 циклов стирки.

Антимикробные свойства полученных тканей испытывали в пригороде Ханоя, столицы Вьетнама, на испытательном полигоне Российско-вьетнамского научно-технологического центра тропических исследований «Хоа Лак». Очевидно, что во влажном и жарком тропическом климате скорость размножения микроорганизмов и их биологическое разнообразие куда выше, чем в привычной нам средней полосе.

Исследование прокомментировала автор статьи, сотрудник Лаборатории синтеза функциональных материалов и переработки минерального сырья ИОНХ РАН Варвара Веселова: «Негативное воздействие микроорганизмов на ткани – очень большая проблема в странах Юго-Восточной Азии. Например, очень популярны осушители воздуха для гардеробов, потому что иначе одежда буквально гниет

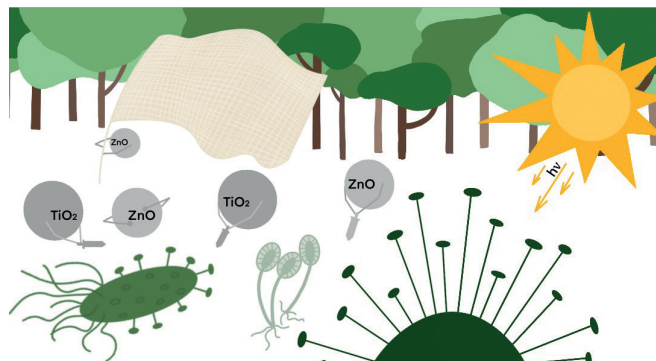


Схема антибактериального действия новой ткани

в шкафу. Так что антибактериальные ткани, простые в изготовлении и пригодные для использования в повседневной жизни, действительно востребованы. В подавляющем большинстве исследований свойства подобных материалов изучают на одном-двух видах бактерий. Но ведь в реальности на материал могут воздействовать десятки видов бактерий одновременно. Да и не только бактерий – на тканях размножаются одноклеточные грибы и простейшие. Благодаря совместной работе с вьетнамскими коллегами нам удалось восполнить этот пробел и показать, что созданные нами ткани имеют очень высокую антибактериальную и противогрибковую (фунгицидную) активность. Количество микроорганизмов на полученных тканях в течение всех трех месяцев испытаний было в 30–100 раз меньше, чем на тканях без обработки. В ходе работы мы проанализировали, какие типы микроорганизмов появились на тканях за время пребывания на тропическом полигоне. Анализ их генома показал, что главной причиной деградации тканей в тропическом климате являются одноклеточные грибы. Но оксид цинка оказался отличным фунгицидом, и даже через три месяца в тропиках наши ткани оставались на 20% прочнее, чем контрольные образцы без покрытия».

Использование технологичного способа обработки, невысокая стоимость и доступность исходного сырья, безопасность наночастиц при контакте с кожей позволяют получать ткани, долго сохраняющие высокую прочность в тропических условиях даже на открытом воздухе при относительной влажности более 90%. Такие ткани можно использовать не только для производства медицинского текстиля, но и для изготовления повседневной одежды.

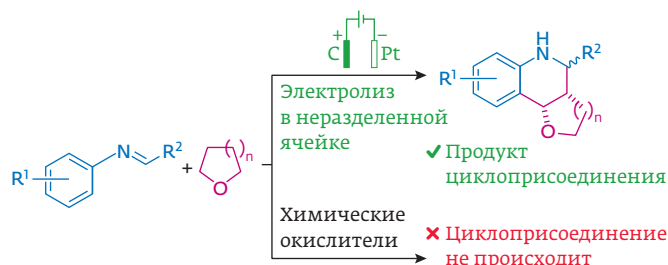
Источник: <https://www.mdpi.com/2079-4983/13/4/233>

Электрохимический метод синтеза трициклических гетероциклов, обладающих высокой фунгицидной активностью

В последнее время идея использования электрического тока, как экологичной и более доступной альтернативы традиционным химическим реагентам, является одним из наиболее активно развивающихся направлений современной органической химии. Среди самых востребованных, но труднодостижимых целей – селективный электросинтез сложных гетероциклических соединений.

В Лаборатории исследования гомолитических реакций Института органической химии РАН был разработан электрохимический метод синтеза трициклических гетероциклов – замещенных тетрагидрохинолинов из базовых органических соединений – иминов и простых эфиров. Электросинтез протекает через образование эфира енола из простого эфира с последующим [4+2] аза-циклоприсоединением. Важно отметить, что подобный процесс невозможно осуществить с использованием традиционных химических окислителей.

Совместно с коллегами из РХТУ имени Д. И. Менделеева и ВНИИ фитопатологии было показано,



Реакция иминов с простыми эфирами в электрохимических условиях и под действием химических окислителей

что полученные тетрагидрохинолины имеют большой потенциал для применения в качестве средств защиты растений, поскольку обладают высокой фунгицидной активностью, превышающей активность широко применяемого коммерческого препарата триадимефон.

Источник: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adsc.202101355>

Новые перспективные соединения для борьбы со злокачественными опухолями

Ученые из Института общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН, Института неорганической химии имени А. В. Николаева СО РАН, Астраханского государственного технического университета и Федерального научного центра физико-химической медицины имени акад. Ю. М. Лопухина разработали простой подход к синтезу новых противораковых соединений. Показана принципиальная возможность сочетания высокой биологической активности и генерации свободных радикалов в одной молекуле. Результаты исследования, поддержанного Российским научным фондом (проект № 22-13-00175), опубликованы в журнале *Molecules*.

Цисплатин – лекарственный препарат, широко применяемый в химиотерапии, который обладает целым рядом побочных действий. В связи с этим, в настоящее время ведется активный поиск новых биологически активных веществ с противораковой активностью, обладающей меньшей токсичностью для здоровых клеток.

Коллектив ученых из Москвы, Астрахани и Новосибирска предложил дополнительно

модифицировать цисплатин органическими молекулами, способными обратимо принимать электроны, генерируя при этом свободные радикалы, что может быть использовано при химиотерапии.

«Редокс-активные лиганды – это органические молекулы, способные превращаться в радикалы. Большинство работ направлено на изучение каталитических или магнитных свойств комплексов металлов с такими лигандами. Современные исследования, вопреки устоявшимся представлениям о вреде свободных радикалов, показывают, что при грамотном подходе их можно использовать для терапии различных заболеваний. Мы решили синтезировать молекулы, которые будут содержать ион платины с окружением как в цисплатине с возможностью генерации радикалов», – рассказывает кандидат химических наук Дмитрий Ямбулатов, научный сотрудник Лаборатории химии координационных полиядерных соединений ИОНХ РАН.

В результате работы были получены три новых соединения платины, проявляющих биологическую активность и являющихся токсичными в отношении раковых клеток. Электрохимические



Образцы (слева) и кристаллы (справа) синтезированного соединения на основе цисплатина

измерения показали, что генерация свободных радикалов возможна во всех трех соединениях. По словам авторов разработки, одно из соединений по противораковой активности сопоставимо с цисплатином, но, к сожалению, более токсично к здоровым клеткам. О внедрении полученных результатов пока рано говорить – обычно лишь малая часть вновь синтезированных соединений становится лекарствами, поэтому приходится тестировать сотни и тысячи молекул, чтобы выявить

закономерности их строения и свойств, постепенно повышая их активность против раковых клеток и снижая цитотоксичность к здоровым.

Полученные результаты станут основой для новых исследований биологической активности комплексов металлов. Ученые продолжают работу над модификацией органических молекул, а также планируют заменить платину на никель – более совместимый с организмом человека элемент.

Источник: <https://doi.org/10.3390/molecules27238565>

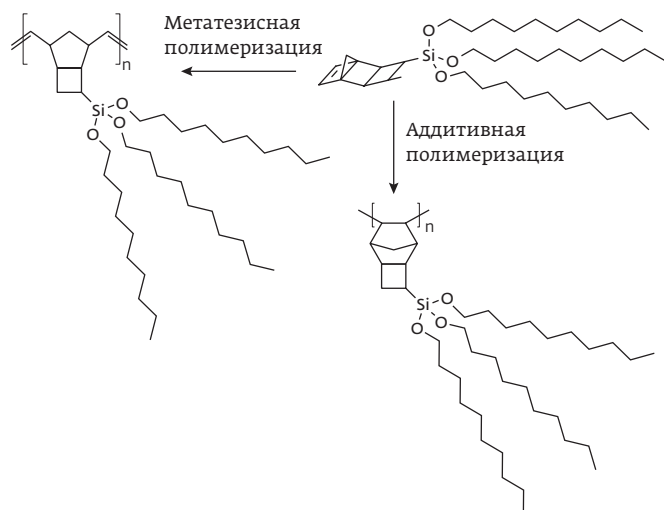
Новые методы исследования неподвижных фаз для газовой хроматографии

Коллектив ученых из Института нефтехимического синтеза имени А. В. Топчиева РАН ведет активные исследования в области сорбционных материалов для газовой хроматографии.

Перспективными материалами для неподвижных фаз хроматографических колонок могут стать полимеры на основе производных трициклонена, полученные метатезисной и аддитивной полимеризацией. Характеристики материалов на основе полимеров, полученных разными способами полимеризации, различны, и при анализе мембранных свойств эти различия проявляются ярко. В то же время, традиционные методы обращенной газовой хроматографии оказываются недостаточно чувствительны для достоверного различения изомерных или гомологичных полимерных неподвижных фаз.

Хроматографическими методами для неподвижных фаз могут быть рассчитаны термодинамические параметры сорбции соединений разных гомологических рядов, хроматографическая полярность, оценена термическая стабильность. Однако для изомерных фаз эти величины оказываются близкими и не имеют значимых различий: хроматографические свойства «метатезисного» и «аддитивного» полимеров сходны между собой. С другой стороны, значения энтропии сорбции аналитов с низкой подвижностью и величины приведенной поверхностной энергии могут использоваться для различения изомерных неподвижных фаз методом обращенной газовой хроматографии, и это ранее не было показано в литературе.

Группой авторов ИНХС РАН исследованы неподвижные фазы для газовой хроматографии, на основе



Пути полимеризации трициклоненов и структура получаемых полимерных неподвижных фаз

«метатезисного» и «аддитивного» полимеров на основе производных норборнена с различными гомологичными заместителями в боковой цепи (полимеры-гомологи). Для этой группы неподвижных фаз построены корреляции хроматографических параметров (фактор удерживания, энтальпия сорбции) с углеродным числом анализата Z_s или углеродным числом полимера Z_p для исследования

внетемпературного «фазового перехода» в ряду полимеров с заместителями – гомологами. Впервые показано, что корреляция логарифма фактора удерживания сорбата $\ln k$ с углеродным числом полимера Z_p детектирует изменение фазового состояния полимера из стеклообразного в вязкотекучее, причем увеличение углеродного числа полимера приводит к уменьшению времени удерживания сорбата. Найдено и объяснение этого эффекта: увеличение времен удерживания аналитов обусловлено увеличением энтальпии сорбции, что, в свою очередь, обусловлено возникновением микропористой структуры у полимеров в стеклообразном состоянии.

Корреляция энтальпии сорбции с углеродным числом полимера является нелинейной и указывает на интенсификацию процесса перехода в стеклообразное состояние при уменьшении углеродного числа полимера Z_p . Показано, что микропористую структуру и связанную с ней высокоразвитую поверхность удается детектировать традиционными методами только у полимеров с углеродным числом менее двух единиц, но увеличение времени удерживания сорбатов надежно фиксируется хроматографическими методами, которые можно рассматривать как индикаторы появления микропористости.

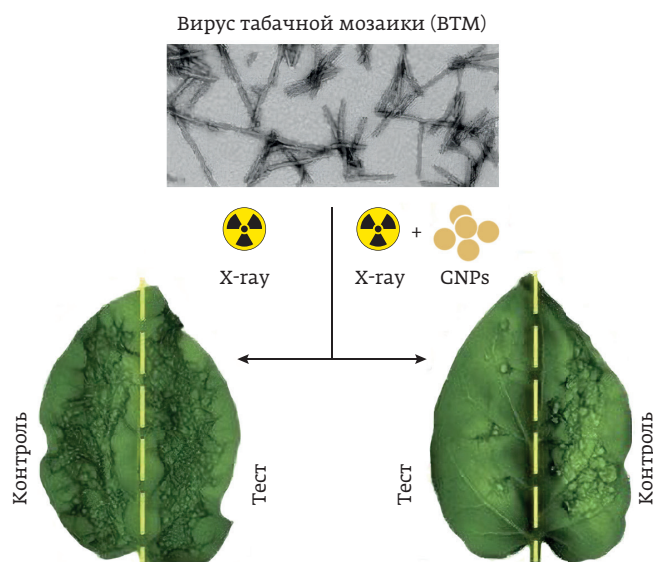
Источник: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/23/5120>

Наночастицы золота усиливают стерилизующие действия ионизирующего излучения

Ученые лаборатории поверхностных явлений в полимерных системах Института физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина РАН совместно со специалистами из Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Института биохимической физики имени Н. М. Эмануэля РАН и ФГБУ ГНЦ ФМБЦ имени А. И. Бурназяна России впервые экспериментально показали, что наночастицы золота значительно повышают эффективность радиационной инактивации вирусов табачной мозаики.

Способность проникающей радиации разрушать любые живые организмы известна давно. Однако микроорганизмы намного (на несколько порядков) устойчивее к радиации, нежели человеческие клетки. Поэтому дополнительные способы снижения дозы облучения и повышения эффективности подавления вирусов расширяют возможности

радиационной противомикробной терапии. Исследование наночастиц тяжелых металлов позволяет справиться даже с супербактериями, которые устойчивы и к радиации, и к холоду, и к агрессивной среде. Например, наночастицы платины помогают пробить противорадиационную защиту такой нечувствительной к радиации бактерии, как суперкокк *Deinococcus radiodurans*. Наночастицы висмута снижают радиационную устойчивость синегнойной палочки *Pseudomonas aeruginosa*. «В настоящее время лишь небольшое количество научных групп изучает усиление радиационного воздействия на микроорганизмы в присутствии наночастиц металлов, и все они занимаются бактериями. Наша работа – первая, где изучаются вирусы, – комментирует один из авторов работы, ведущий научный сотрудник лаборатории, доктор химических наук Ольга Дементьева. – Сходство



Уменьшение инфекционной активности ВТМ в результате радиационного воздействия в присутствии золотых наночастиц

между вирусами, поражающими растения, и вирусами, воздействующими на животных и человека, достаточно велико, чтобы мы могли выявить закономерности на таком модельном объекте».

Вирус табачной мозаики имеет форму палочки. Его РНК защищена белковой оболочкой. При радиационном воздействии биологические молекулы разрушаются из-за прямой ионизации и под воздействием продуктов радиолитической среды; ионизирующее излучение на молекулярном уровне разрушает РНК, а свободные радикалы нарушают целостность ее белковой оболочки. «Увеличение дозы излучения до 10 кГр привело к увеличению количества разрушенных вирионов. Однако даже при самой высокой дозе в пробе были обнаружены неповрежденные вирусы. В присутствии наночастиц золота при меньшей дозе излучения неповрежденных

вирусов в пробе не оставалось», – поясняет Ольга Дементьева.

Наночастицы золота (GNPs) могут воздействовать на вирион разными путями. С одной стороны, они способствуют выделению активных форм кислорода, которые химически разрушают оболочку вириона. С другой стороны, повреждение РНК можно объяснить испусканием наночастицами вторичных электронов. Также оказалось, что наночастицы способны образовывать с вирионами своеобразные комплексы.

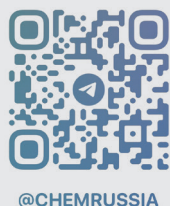
«Мы заметили, что после облучения наночастицы золота присоединялись к одному из концов вириона. Это очень интересный эффект. Можно предположить, что при высоких дозах радиационного облучения наночастицы золота изменяют знак своего заряда на положительный и могут связываться с отрицательно заряженными концами вирусных частиц по электростатическому механизму. Этот эффект заслуживает детального изучения из-за его возможного влияния на стерилизующие свойства радиационного излучения», – рассказывает Ольга Дементьева.

Таким образом, в результате исследования было обнаружено, что в присутствии сферических наночастиц золота рентгеновское излучение той же энергии и в той же дозе почти в восемь раз сильнее подавляет инфекционную активность вируса табачной мозаики. Разрушается как белковая оболочка вируса – за счет более эффективного выделения активного кислорода, так и его РНК – за счет воздействия ионов. Уменьшение требуемой дозы расширяет возможности применения излучения в противомикробных целях.

Результаты исследования опубликованы в журнале *Particle and Particle Systems Characterization*.

Источник: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ppsc.202200074>

Составители дайджеста:
чл.-корр. РАН В.К. Иванов (ИОНХ РАН),
к. х. н. М.Н. Смирнова (ИОНХ РАН).



Telegram-канал ИОНХ РАН

ИОНХ РАН, один из ведущих химических и материаловедческих институтов РФ, создал Telegram-канал для публикации информации о новостях химической науки, исследованиях, проводимых в России и за рубежом, научных статьях, конференциях и грантах. Этот ресурс будет полезен всем тем, кто занимается химическими исследованиями и разработками.