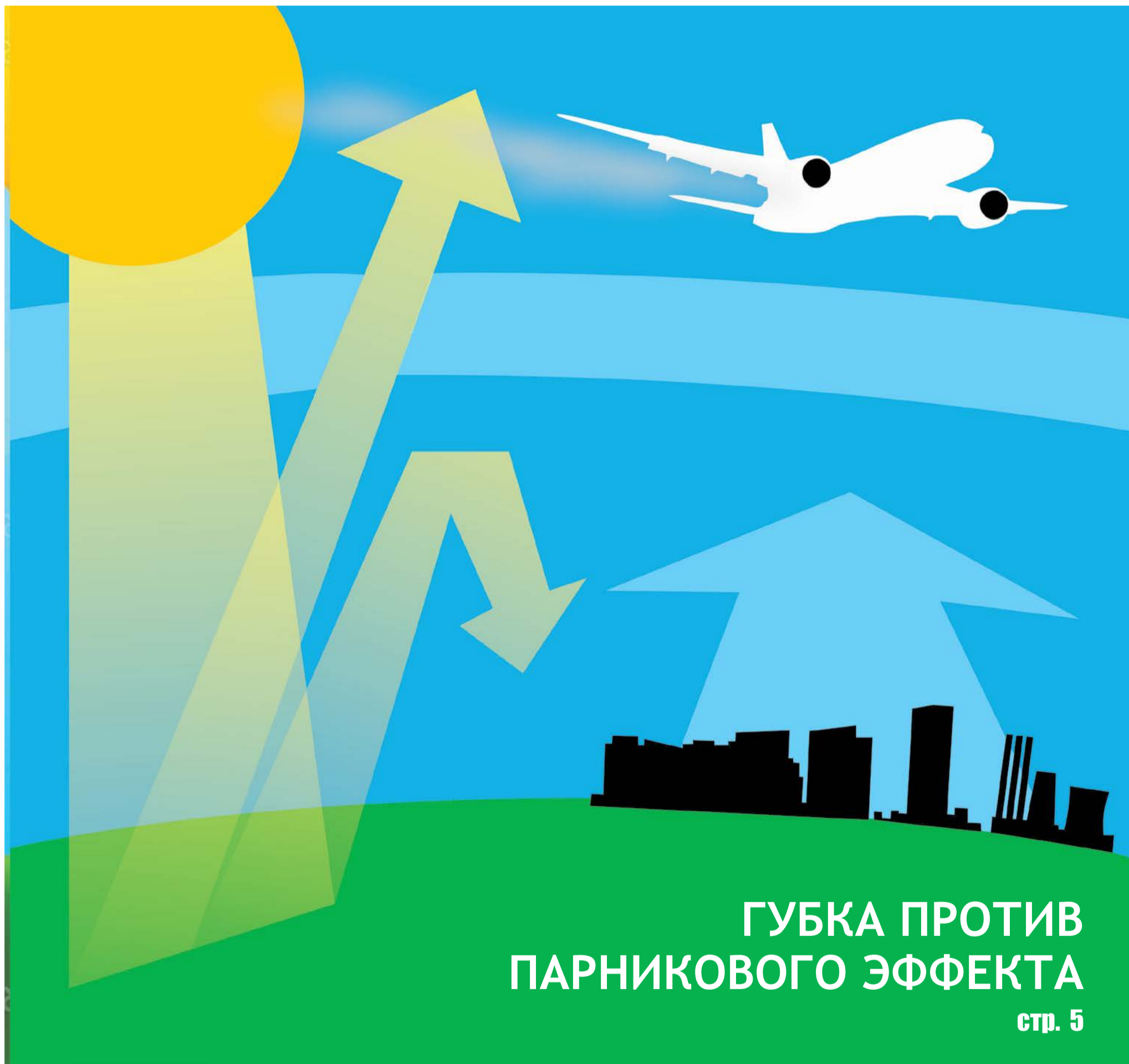




Наука в Сибири

ГАЗЕТА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК • ИЗДАЕТСЯ С 1961 ГОДА

13 июля 2017 года • № 27 (3088) • электронная версия: www.sbras.info • ISSN 2542-050X • 12+



ГУБКА ПРОТИВ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА

стр. 5

ТРАНСПОРТ
БУДУЩЕГО

стр. 4

ЛИШАЙНИКИ:
ДРУЗЬЯ, ВРАГИ
И КОНКУРЕНТЫ

стр. 6

ЧЕМ ПИТАЛИСЬ
ДРЕВНИЕ
ЛЮДИ?

стр. 7

ПОРИСТЫЕ ПОЛИМЕРЫ: ГУБКА ПРОТИВ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА



Данил Дыбцев

Редко какая страна не занимается вопросами экологии: создание международных организаций, подписание Парижского соглашения — столь масштабные действия призваны решить проблему вредных выбросов и загрязнения. Однако для защиты окружающей среды необходимы не только договоренности, но и новые технологии — их разработкой на основе нанопористых координационных полимеров уже 15 лет занимаются сибирские ученые в Институте неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН.

Координационные полимеры или металл-органические каркасы — это пористые материалы, построенные из положительно заряженных ионов металлов, соединенных мостиковыми лигандами. Ключевое преимущество подобных материалов заключается в наличии органической части — мостиков — и неорганической — катиона металла, — каждую из которых можно варьировать, таким образом меняя физические свойства каркаса: например, размер полостей или химическую функциональность. Подобных структурных комбинаций гораздо больше, чем в других типах пористых материалов.

При правильном подборе условий такие пористые структуры самостоятельно собираются в виде кристаллов: к атомам металла прикрепляются соединительные мостиковые лиганды, а в итоге получается периодическая решетка. Этот процесс напоминает строительные леса — только их создают люди, а координационные каркасы получаются за счет химических реакций. Задача ученых — найти условия, в которых будет образовываться пористый материал с заданной кристаллической структурой.

— Помимо прочего, пористые материалы имеют огромную внутреннюю поверхность — сотни и тысячи квадратных метров, — рассказывает ведущий научный сотрудник ИНХ СО РАН доктор химических наук Данил Николаевич Дыбцев. — Представьте футбольное поле — около 6 000 м²: столько может заключаться всего в одном грамме порошка нанопористого координационного полимера.

Пористый материал напоминает губку, предназначенную для молекул: в его полости впитываются частицы жидкости или газа, заполняя внутренние каналы, в результате чего полимер способен вбирать и удерживать большие объемы других веществ. Благодаря своим свойствам пористые соединения могут применяться во многих областях, в том числе и при решении вопросов о защите окружающей среды.

От углерода к водороду

Наиболее острая проблема, связанная с экологией, — парниковый эффект — представляет собой разогрев слоя атмосферы из-за поглощения теплового излучения некоторыми газами. Если бы этого не происходило, излучение отражалось бы от Земли, но в результате оно всё же остается на планете. Самый значительный вклад в этот процесс вносят пары воды — до 70 %.

— На втором месте находится углекислый газ, — поясняет Данил Дыбцев. — На атмосферную влагу мы повлиять не в силах, а вот CO₂ — антропогенный фактор, и большинство усилий направлено на то, чтобы противостоять его растущему количеству в атмосфере.

Смена планетарной температуры в течение многих тысяч лет связана именно с изменениями уровня CO₂: резкий рост произошел двести лет назад, когда в результате индустриальной революции человечество начало активно использовать минеральное топливо: уголь, нефть и газ. Существуют три основных антропогенных источника CO₂ — транспорт, тепловые электростанции и металлургия, и для каждого случая требуется разработка оптимального решения. В частности, извлекать CO₂ напрямую из автомобильных выхлопов нереально, но можно осуществить переход на низкоуглеродное топливо.

— Возьмем хорошее топливо: изоктановый бензин с формулой C₈H₁₈, где соотношение водорода с углеродом примерно 2 к 1, — рассказывает ученый. — При переходе на низкоуглеродное топливо — метан (CH₄) — мы уже получаем соотношение 4 к 1. В перспективе можно вообще использовать водород (H₂) как безуглеродное и экологически безупречное топливо.

Для эффективного превращения водорода или метана в электричество учеными разрабатываются так называемые топливные элементы (ТЭ) — химические источники тока, состоящие из анода, катода и соединяющей их мембраны, где происходит реакция между кислородом и водородом. В анодной части ТЭ водород отдает электроны с образованием электричества и протонов, которые проходят через проводящую мембрану в катодную часть. Там они связываются с кислородом, образуя воду.

Превращение химической энергии в электрическую в ТЭ в несколько раз более эффективно по сравнению с двигателями внутреннего сгорания: в них значительная часть энергии рассеивается в виде тепла, а КПД не превышает 25 %. Однако внедрять такие устройства в автомобили пока сложно — прежде всего из-за дорогого катализатора, содержащего платиновые металлы, а также из-за несовершенства современных протон-проводящих мембран.

— Материалы, полученные на основе пористых полимеров, демонстрируют лучшие протон-проводящие свойства в сравнении с используемыми сейчас, — говорит Данил Дыбцев. — Дело в том, что существующие сегодня протонные проводники содержат воду, а требования, выдвигаемые автоиндустрией, предполагают работу ТЭ при температурах заметно выше 100 °С. В таких условиях вода испаряется, и мембрана просто теряет свои проводящие свойства.

В ИНХ СО РАН совместно с Институтом химии твердого тела и механохимии СО РАН, предложили довольно простой, но эффективный способ решения данной проблемы. Дело в том, что кислота — естественный источник протонов. Если полости пористого координационного полимера, как губку, пропитать кислотой, получится новый гибридный

материал с необходимыми параметрами: рекордно высокой протонной проводимостью в условиях низкой влажности и температурном диапазоне до 200 °С и даже выше. У такого материала, правда, есть и слабые стороны: кислота плохо удерживается в нанополостях каркаса, так как нет крепких химических связей.

— На данный момент мы работаем над этим: например, можно химически «пришивать» молекулы кислоты к стенкам каркаса, — поясняет ученый. — Однако нами уже решен ряд важных фундаментальных проблем — прежде всего, получены мембранные материалы с высокими значениями проводимости в широком интервале температур и минимальной зависимости этих свойств от влажности.

Как разделить воздух?

— В ближайшем будущем индустриальные страны не смогут отказаться от ископаемых источников, так что пока человечеству остается только снижать выбросы, — рассказывает Данил Дыбцев. — По всем существующим прогнозам использования различных видов ископаемого топлива — газа, нефти, угля — потребление в ближайшие 50 лет будет только расти. Значит, нужно вкладывать научный потенциал в извлечение CO₂ непосредственно из промышленных выбросов или из атмосферы.

Самый распространенный способ добычи электричества — горение угля (С): он целыми составами сжигается в электростанциях благодаря воздуху, который состоит из азота (N₂) и кислорода (O₂). В результате такой химической реакции из выхлопной трубы выходят уже углекислый газ и азот — CO₂ и N₂. Соответственно, при очистке выбросов тепловых электростанций необходимо отделять эти газы друг от друга: N₂ безвреден, и его можно отправлять обратно в атмосферу, а вот от CO₂ стоит избавляться — например, запастись его в уже не функционирующих шахтах или нефтяных скважинах.

Разделение промышленных выбросов происходит в потоковом режиме: в заполненную специальным сорбентом колонну поступает смесь CO₂ и N₂, при этом азот выходит напрямую в атмосферу, а углекислый газ остается в колонне. Когда она заполнится, поток CO₂ и N₂ переключается на соседнюю колонну с таким же сорбентом. В это время первая колонна регенерируется (восстанавливается), и из нее извлекается чистая углекислота, которая направляется в подземные хранилища. Таким образом, процесс селективной адсорбции (разделения) газов идет непрерывно. Представьте, что вы держите в руках две

связки воздушных шаров: одну с азотом беззаботно отправляете в воздух, а вот вторую, с углекислым газом, оставляете при себе и складываете в безопасное место — примерно так и работают подобные пористые структуры.

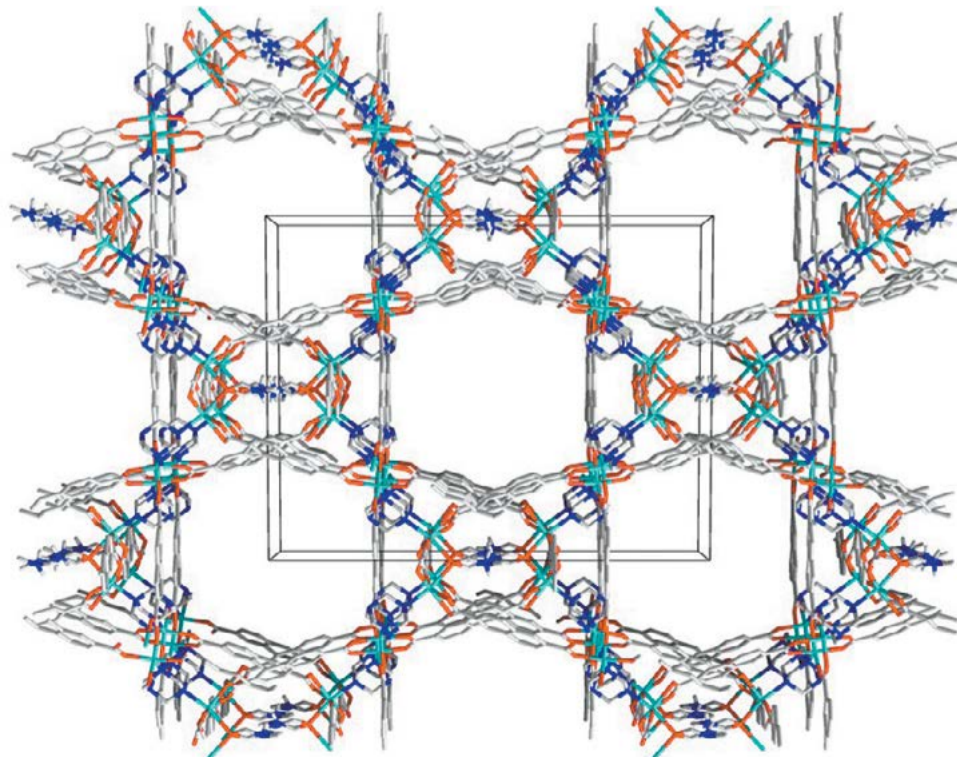
— Применяемые сегодня технологии используют жидкие хемосорбенты — триэтанолламин или моноэтанолламин, которые, помимо имеющихся преимуществ, обладают рядом существенных недостатков, — рассказывает ученый. — Во-первых, это высокая коррозионность используемых аминов, что приводит к износу оборудования. Кроме того, их производство само по себе вредно для окружающей среды. Другой существенный минус — высокая температура, необходимая для регенерации хемосорбента, а это, в конечном счете, повышает стоимость очистки промышленных выбросов и снижает энергоэффективность процесса.

В настоящий момент во всем мире идет разработка более эффективной технологии разделения газовых смесей с использованием различных пористых сорбентов и других подобных материалов. Поэтому в ИНХ СО РАН активно исследуются пористые координационные полимеры как самые перспективные материалы среди имеющихся. Эти соединения являются своего рода молекулярными фильтрами, которые избирательно поглощают те или иные вредные газы или пары: в данном случае — эффективно связывают углекислый газ и не взаимодействуют с азотом.

— Хорошо известно, что молекула CO₂ проявляет кислотные свойства и не зря называется «углекислотой», — поясняет Данил Дыбцев. — С другой стороны, пористые материалы, разрабатываемые в ИНХ СО РАН, имеют в своей структуре активные центры основной природы, благодаря которым происходит взаимодействие молекул CO₂ с полостями пористого материала. Важнейшим химическим свойством кислот и оснований является их способность вступать в реакцию друг с другом, и именно этот принцип реализуется в наших сорбентах для селективной адсорбции CO₂ из газовых смесей.

На данный момент ключевой вопрос для широкого внедрения разрабатываемой технологии — низкая доступность металл-органических сорбентов, но это, скорее, вопрос перехода на другой технологический уклад и инвестиций в производство материалов нового поколения.

Алёна Литвиненко
Фото предоставлены
Данилом Дыбцевым



Пористая структура