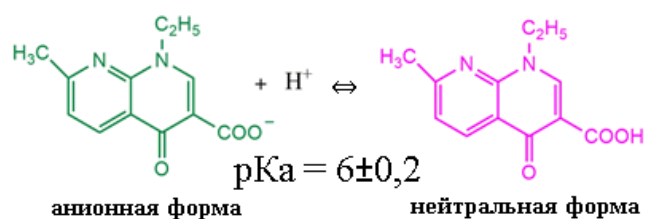


Фотохимия в борьбе за экологию

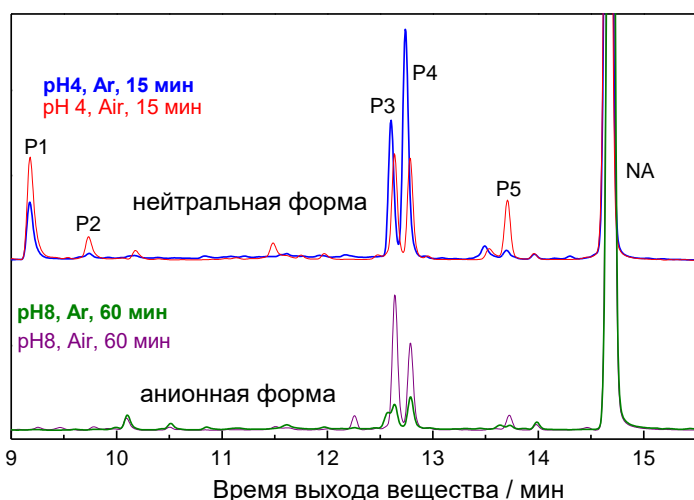
В лаборатории фотохимии нашего института учёные исследуют процессы, происходящие в воде под воздействием света. Основные области, в которых мы изучаем эти процессы – экология и медицина.

Свет (и его источники) окружают нас везде и всегда: это и солнце, и лампочка накаливания, и многое другое. Даже экран телефона может быть источником света. Разница только в интенсивности этих источников. Интенсивность - это количество квантов света ($h\nu$), которое пролетело через единицу площади за единицу времени. В наших экспериментах мы используем специальные лампы и лазеры, которые дают достаточную интенсивность. Благодаря этому мы можем моделировать процессы, протекающие как в природных водах, так и в организме человека под воздействием света. При чём тут экология? Человечество придумало и активно использует огромное количество различных химических соединений: удобрения для полей, лекарства, гигиенические принадлежности и многое другое. Различными путями они попадают в природные воды, а там, под воздействием солнечного света, могут начать трансформироваться. Либо же на станциях очистки они попадают под воздействие дезинфицирующего (то есть уничтожающего опасных микроорганизмов) излучения с последующей трансформацией. Именно процесс трансформации химических соединений под действием света (фотодеградация) нас и интересует, так же, как и то, во что трансформируется вещество: ведь даже из самого безобидного вещества может получиться что-то опасное, что может нарушить хрупкое равновесие в водной экосистеме или навредить тому, кто случайно выпьет воды с таким содержанием. Расскажу подробнее на примере нашей последней работы с налидиксовой кислотой, которая используется в медицине и ветеринарии для борьбы с бактериями. Это тот самый случай, когда изначально полезное вещество под воздействием солнечного света может стать опасным, разрушая экосистему и вызывая у людей, которые выпили загрязнённую воду, болезни.



У налидиксовой кислоты (NA) есть две основные формы: нейтральная и анионная (их структура изображена на рисунке). Для того, чтобы исследовать процесс трансформации, мы взяли лампу с длиной волны излучения 308 нм, а потом светили на раствор, содержащий

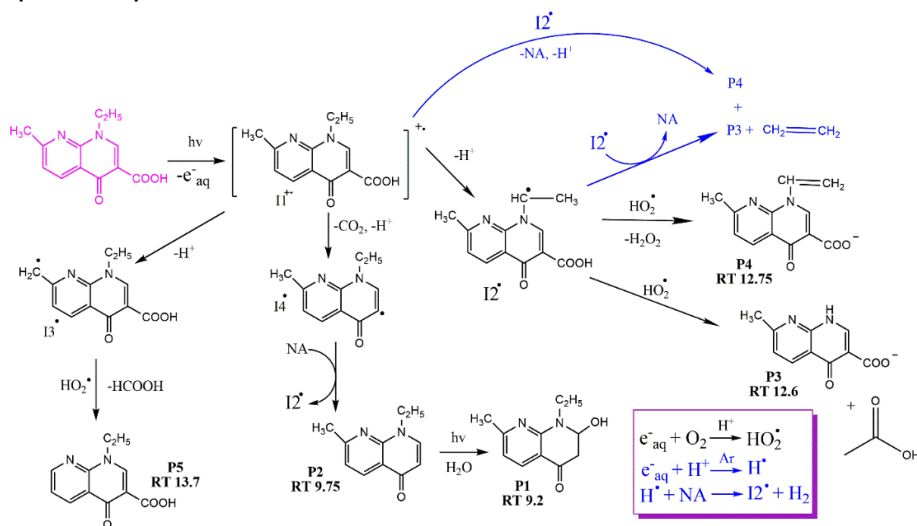
разные формы NA разные промежутки времени, отправляя потом облучённый раствор на хроматографическое исследование, совмещённое с измерением массы продуктов облучения, которое позволяет нам узнать, как вещество разрушается со временем под воздействием света, а также о том какие продукты накапливаются в растворе.



Вот такую красивую картинку нам дала хроматография. Наблюдаемые пики отвечают исходному соединению и продуктам облучения, их структуры приведены на схеме внизу. Здесь мы наглядно можем сравнить, как влияет наличие или отсутствие кислорода (при продувке растворов аргоном) на процесс фотодеградации для обеих форм NA. Мы видим, что продукты P3 и P4 есть у обеих форм (у нейтральной их накапливается больше при меньшем времени облучения), а при удалении кислорода

они накапливаются хуже для анионной формы, но лучше для нейтральной. При этом остальные продукты для нейтральной формы либо вообще не накапливаются, либо делают это сильно хуже. Эти данные позволяют делать вывод, что растворенный кислород активно участвует в процессе фотодеградации NA.

При построении зависимости площади пика NA от времени облучения, мы можем узнать квантовый выход фотодеградации. Эта величина равна отношению числа исчезнувших молекул NA по отношению к числу поглощенных квантов света и показывает, насколько эффективно протекает процесс фотодеградации. Это важный параметр, так как он показывает насколько вещество вообще подвержено фотопроцессу и позволяет предположить механизм, по которому трансформируется исходное соединение. Для нашей системы оказалось, что квантовый выход нейтральной формы больше, чем у анионной, и при удалении кислорода он уменьшается, квантовый выход же анионной формы от наличия кислорода в растворе не зависит. Мы предполагаем, что меньший квантовый выход анионной формы связан с более коротким, чем у нейтральной, временем жизни его возбужденного состояния – в это состояние молекула переходит под воздействием поглощенных квантов света, – из-за чего данная форма хуже подвергается фотодеградации.



С помощью измерения массы продуктов (метод масс-спектрометрии) мы узнали какие конкретно продукты образуются, то есть какие части молекулы теряются под воздействием облучения.

А дальше все полученные данные были использованы для построения механизма протекающих процессов. Однако практика всегда должна

подтверждаться теорией, для подтверждения нашего механизма мы использовали квантово-химические расчёты, которые подтвердили и дополнили наши экспериментальные данные. И, в итоге, мы получили такую симпатичную схему, которая полностью описывает трансформацию налидиксовой кислоты под воздействием света в водном растворе. Здесь показаны все активные радикальные частицы, в которые мы переводим молекулу NA, а также реакции, приводящие к образованию конечных продуктов.

Таким образом, фотохимические методы позволяют понять механизм процессов трансформации органических загрязнителей в водных растворах, что позволяет разрабатывать методы водоочистки и лучше представлять процессы, приводящие к появлению потенциально вредных вторичных загрязнителей под действием солнечного излучения.