

## КРАТКИЙ ОЧЕРК НАУЧНОЙ, ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ И ОБЩЕСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

(Вступительная статья академика А.И.Опарина к книге  
"Александр Абрамович Красновский /материалы к биобиблиографии ученых СССР/").  
Издательство "Наука", Москва, 1983 г., с. 10-22.

Академик Александр Абрамович Красновский, биохимик и биофизик, развивает новое направление исследований на границе биохимии, биофизики и фотохимии. Его работы посвящены раскрытию молекулярных механизмов биологического использования солнечной энергии.

А.А.Красновский родился в Одессе 26 августа 1913 г. В 1928 г. он окончил школу-семилетку в Москве и поступил на химические спецкурсы, реорганизованные в III Московский химический техникум Всехимпрома. По окончании техникума в 1931 г. А.А.Красновский был направлен на Бутырский химический завод в Москве. Работая на заводе, он поступил на вечернее отделение (без отрыва от производства) Московского химико-технологического института им. Д. И. Менделеева, которое окончил в 1937 г. с отличием, получив диплом инженера химика-технолога. После окончания института А.А.Красновский был рекомендован и принят в аспирантуру при том же институте.

В те же годы началась научная связь А.А.Красновского с академиком Александром Николаевичем Терениным. Влияние А.Н.Теренина определило формирование научного мировоззрения А.А.Красновского. Несмотря на то что А. Н. Теренин работал в Ленинграде, а А.А.Красновский в Москве, между ними возникло тесное научное общение, которое продолжалось 30 лет, до самой смерти А. Н. Теренина. В обширной переписке и при частых встречах они обсуждали пути исследования насущных фотобиохимических проблем.

В 1940 г. А.А.Красновский защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук в Московском химико-технологическом институте им. Д. И. Менделеева, где и остался ассистентом кафедры физической и коллоидной химии и продолжал вести педагогическую и научно-исследовательскую работу. Его диссертация была посвящена исследованию деструктивного фотоокисления полимерного связующего вещества в пигментированных пленках. Выяснение роли перекисных соединений при фотодеструкции привело его к необходимости исследования проблемы в более простой гомогенной системе. Он изучает фотореакции изомерных диметилбензолов под влиянием ультрафиолетового излучения. Исследуя кинетику образования перекисных соединений, А.А.Красновский связал особенности фотоокисления изомерных диметилбензолов с их структурой.

Во время Великой Отечественной войны А.А.Красновский участвовал в решении неотложных задач химической обороны страны.

В 1944 г. А.А.Красновский по представлению академиков А. Н. Баха и А.Н.Теренина поступил в докторантуру Института биохимии Академии наук СССР, где протекает вся его последующая научная деятельность. Здесь он получил возможность посвятить свои силы изучению проблемы, которая его всегда интересовала, - преобразованию энергии света при фотосинтезе, что тесно связано с изучением фотохимических свойств хлорофилла и других пигментов растений.

В 1948 г. А.А.Красновский защитил докторскую диссертацию "Исследование фотохимических реакций при фотосинтезе".

В те годы вопрос о путях участия хлорофилла в фотосинтезе был предметом многих гипотез. А.А.Красновский поставил задачу выяснить способность возбужденного светом хлорофилла к обратимым окислительно-восстановительным превращениям, так как только обратимые превращения могли лежать в основе действия хлорофилла при фотосинтезе. В

начале своей работы А.А.Красновский наряду с хлорофиллом исследовал световые превращения более просто построенного синтетического аналога хлорофилла - фталоцианина магния.

В 1947 г. А. А. Красновский обнаружил возможность обратимого фотоокисления хлорофилла, используя свой опыт по фотохимическому окислению ароматических углеводородов. Ему удалось найти условия обратимого фотохимического окисления хлорофилла и фталоцианина магния кислородом с регенерацией исходного пигмента под действием восстановителей. Оказалось, что в этих реакциях (наряду с деструктивным фотоокислением) наблюдалось образование лабильных, обратимо реагирующих продуктов. Исследование реакции хлорофилла с перекисью бензоила позволило изучить этот обратимый процесс без действия света.

В дальнейших работах А.А.Красновского с Н. Н. Дроздовой и К. К. Войновской была обнаружена и исследована способность возбужденного светом бактериохлорофилла и его аналогов к обратимому фотохимическому окислению кислородом и хинонами с образованием активных промежуточных продуктов.

Далее следовало выяснить возможность обратимого фотовосстановления хлорофилла, т. е. возможность восприятия электрона возбужденной молекулой пигмента от донора электрона. Применяв в качестве донора электрона аскорбиновую кислоту и предполагая устойчивость промежуточных анион-радикалов хлорофилла в основных средах, А.А.Красновский в 1948 г. открыл способность хлорофилла и его аналогов к реакции обратимого фотохимического восстановления и установил участие в этой реакции хлорофилла в триплетном возбужденном состоянии.

Реакция фотовосстановления оказалась общей для всех производных и аналогов хлорофилла, феофитинов, порфиринов и получила в научной литературе название "реакции Красновского". Дальнейшему изучению этой реакции были посвящены многие работы в СССР и за рубежом. Большой интерес к этой реакции определялся тем, что это была первая обратимая фотохимическая реакция хлорофилла, осуществленная вне организма. Дальнейшее исследование промежуточных продуктов, образующихся при фотовосстановлении хлорофилла, было предметом докторской диссертации В.Б.Евстигнеева.

В большом цикле работ А.А.Красновского с А.В.Умрихиной было обнаружено образование свободных радикалов при фотохимическом окислении и восстановлении хлорофилла и его аналогов.

Через 30 лет после первых исследований Александра Абрамовича в работах ряда лабораторий было установлено, что способность хлорофилла и феофитинов к обратимому фотоокислению и фотовосстановлению лежит в основе функционирования реакционных центров фотосистем.

В основе фотосинтеза растений лежит окислительно-восстановительный процесс, в котором вода играет роль донора электрона, а углекислота - роль конечного акцептора электрона. Чтобы моделировать процесс фотосинтеза, следовало найти более простые реакции переноса электрона от донора к акцептору за счет энергии света, поглощенного хлорофиллом.

В сороковых годах была выяснена роль пиридиннуклеотидов в гетеротрофной фиксации углекислоты. В 1948 г. А.А.Красновский предположил, что при фотосинтезе восстановление пиридиннуклеотидов происходит за счет энергии квантов света, поглощаемых хлорофиллом. В согласии с этой гипотезой в 1949 г. А.А.Красновский и Г.П.Брин обнаружили возможность фотосенсибилизированного хлорофиллом восстановления пиридиннуклеотидов при использовании аскорбиновой кислоты в качестве донора электрона. (Двумя годами позже три группы американских исследователей установили, что пиридиннуклеотиды могут восстанавливаться хлоропластами на свету.)

Эти результаты являются краеугольным камнем представлений о механизме фотосинтетического переноса электрона.

Еще в 1948 г. А.А.Красновский обнаружил высокую фотохимическую активность хлорофилла, солюбилизованного в мицеллах детергентов. Водные растворы детергентов, содержащие хлорофилл или другие пигменты, представляют собой достаточно простые модели пигментированных мембран фотосинтезирующих организмов: в них были изучены разнообразные окислительно-восстановительные реакции хлорофилла и его аналогов. В этих модельных системах происходит эффективное фотовосстановление кислорода, окислительно-восстановительные превращения цитохромов, флавинов, хинонов.

В этом круге реакций наибольший интерес представляло фотосенсибилизированное восстановление метилвиологена, обладающего окислительно-восстановительным потенциалом, близким к потенциалу водородного электрода. Исследованные процессы моделируют первую фотосистему цепи переноса электрона.

В начале работ по фотохимии хлорофилла перед А.А.Красновским возник вопрос, в какой степени результаты модельных экспериментов можно использовать для понимания природы процессов, идущих в живой клетке, и поэтому еще в своей докторской диссертации А.А.Красновский обращается к проблеме молекулярной организации хлорофилла в мембранах фотосинтезирующих организмов.

Изучая спектральные свойства хлорофилла в различных системах, А.А.Красновский в 1946-1948 гг. пришел к фундаментальному выводу, что хлорофилл в клетках находится в разных формах отличающихся по своим спектральным свойствам и фотохимической активности. Опыты показали, что главная масса хлорофилла в клетках растений находится в фотохимически устойчивых агрегированных формах и меньшая часть - в фотохимически активном состоянии.

А.А.Красновский обнаружил, что агрегация - межмолекулярное взаимодействие молекул пигментов - ведет к длинноволновым сдвигам полос поглощения и флуоресценции, которыми обладают пигменты в клетках фотосинтезирующих бактерий.

Представления А.А.Красновского о существовании в организмах различных форм хлорофилла и их функциональных различиях предвосхитили общепринятую ныне гипотезу о существовании в растениях двух фотореакций, управляемых разными пигментными системами.

Последующие работы ряда лабораторий привели к разделению всего фонда пигментов на хлорофилл "антенны", поглощающий свет, и хлорофилл реакционных центров, непосредственно участвующих в переносе электрона.

Дальнейшие исследования А.А.Красновского выявили возможность самосборки агрегированных форм пигментов. Наиболее характерной оказалась самосборка бактериохлорофиллов, образующих те же типы агрегированных форм, что и пигменты в клетках фотосинтезирующих бактерий. В работах А.А.Красновского с М.И.Быстровой были выяснены принципы молекулярной организации агрегированных форм хлорофилла и его аналогов, природа межмолекулярных контактов и роль низкомолекулярных аддендов при агрегации.

А.А.Красновский предположил, что в процессе биосинтеза и Накопления хлорофилла в клетках растений происходит начальное (образование мономерных форм, которые по мере накопления образуют упорядоченные агрегированные структуры. Исходя из этих представлений, был осуществлен большой цикл работ, посвященный исследованию образования хлорофилла из протохлорофилла при зеленении этиолированных листьев.

Прежде всего А.А.Красновский хотел найти наиболее простую бесклеточную систему, в которой можно было бы наблюдать фотообразование хлорофилла из протохлорофилла. Попытки фотовосстановления протохлорофилла в растворе привели к преимущественному образованию лабильного промежуточного продукта и лишь к малому

выходу хлорофиллоподобного соединения, тогда как в этиолированных листьях этот процесс происходит весьма эффективно с квантовым выходом, близким к единице.

В 1952 г. А.А.Красновский и Л.М.Воробьева нашли, что не только в листьях, но и в бесклеточных протохлоробфилл-белковых соединениях, выделенных из этиолированных листьев фасоли, удается наблюдать эффективные превращения протохлорофилла в хлорофилл. Эти работы определили возможность дальнейших исследований многих лабораторий по изолированию фотохимически активного протохлорофилл-белкового комплекса.

В 1956 г. А.А.Красновский и Ф.Ф.Литвин разработали метод низкотемпературной фиксации этиолированных листьев с измерением их спектров флуоресценции при температуре жидкого азота в процессе зеленения. Этот метод дал возможность изучить первичные стадии фотообразования хлорофилла и предложить картину биосинтеза, основанную на первичном фотовосстановлении протохлорофиллида с последующей его фитолизацией и постепенной агрегацией хлорофилла по мере его накопления. Это направление исследований получило дальнейшее развитие в докторской диссертации Ф.Ф.Литвина, в которой была изучена упорядоченная система агрегированных форм пигментов, связанных условиями миграции энергии возбуждения от наиболее длинноволновых к коротковолновым формам.

Логическим следствием экспериментов А.А.Красновского, установивших агрегацию пигментов в хлоропластах и хроматофорах, было выяснение роли в этом явлении белково-липидной структуры мембран фотосинтезирующих клеток.

В ранних работах А.А.Красновского были начаты исследования фикобилинов, представляющих собой прочные пигмент-белковые соединения, в которых белок и хромофорная группа связаны ковалентно. В 1950 г. на Севастопольской биологической станции А.А.Красновский разработал способ выделения фикоэритрина из красных водорослей. Было изучено влияние денатурации белка на спектральные и фотохимические свойства фикобилинов. В этом цикле исследований было установлено влияние конформации белка на оптические свойства хромопротеидов и способы межмолекулярного взаимодействия хромофорных групп пигмента. В опытах Ю.Е.Ерохина с помощью электрофореза на акриламидном геле удалось разделить различные агрегированные формы бактериохлорофилла, связанного с белками и липидами. Эти опыты указывают на то, что определенные конформации белково-липидных структур мембран могут диктовать способ молекулярной упаковки агрегированных форм пигментов. Работы по молекулярной организации пигмент-белковых соединений получили дальнейшее развитие в лаборатории молекулярной организации фотосинтетического аппарата в Институте фотосинтеза АН СССР.

В большом цикле работ А.А.Красновским исследовалось превращение различных форм хлорофилла и его аналогов в хлоропластах и хроматофорах, при этом было обнаружено явление дезагрегации под действием света, детергентов, растворителей и возможность обратной реконструкции функционирующих пигмент-белковых комплексов при некоторых типах воздействий.

Фотохимические превращения пигментов в изолированных структурах указывают на возможные пути их участия в элементарных процессах фотосинтеза. Следовало изучить обратимые превращения пигментов непосредственно в клетках фотосинтезирующих организмов и изолированных системах, используя обширный арсенал спектральных методов - дифференциальную спектроскопию, измерение кинетики люминесценции, лазерную спектроскопию. Превращение пигментов в реакционных центрах тесно связано с миграцией энергии возбуждения от пигментов "антенны" и условиями сопряжения переноса электрона от возбужденного пигмента к донорам и акцепторам электрона всей цепи. В докторской диссертации Н. В. Карапетяна было проведено систематическое исследование функционирования фотосистем высших растений и пурпурных бактерий, что позволило показать единство биохимического механизма, лежащего в основе

энергетического взаимодействия хлорофилла "антенны" и реакционных центров фотосистем.

Для исследования механизма первичного преобразования энергии света в реакционных центрах фотосинтеза А.А.Красновский в 1970 г. организовал лабораторию в Институте фотосинтеза АН СССР в Пущине, где работают его ученики. Используя пикосекундные лазеры в совместных работах с Институтом спектроскопии АН СССР, В.А.Шувалов и В.В.Климов установили последовательность стадий первичного фотопереноса электрона между разными формами бактериохлорофилла в реакционных центрах с последующим переносом электрона на бактериофеофитин и далее на убихинон. В препаратах, обогащенных второй фотосистемой удалось обнаружить фотовосстановление феофитина, который участвует в первичном переносе электрона к пластохинону. Эти эксперименты связывают ранние работы А.А.Красновского по фотохимии хлорофилла и феофитина с функционированием пигментов в реакционных центрах.

А.А.Красновского давно интересуют механизмы фотобиологических процессов, отличных от фотосинтеза. В 1950 г. он обнаружил способность порфиринов к обратимому фотовосстановлению, связав это свойство с их фотодинамическим поведением.

А.А.Красновский и Г.П.Брин установили фотохимическую активность восстановленных пиридиннуклеотидов, выяснили механизм этого процесса и показали его связь с рядом фотобиологических реакций.

А.А.Красновский исследует фотохимическое поведение разных пигментов - фикобилинов, флавинов, каротиноидов - в связи с их участием в фотобиологических процессах. В этих работах в сравнительном плане изучаются прямые фотохимические реакции этих фоторецепторов и их сенсбилизация к более длинноволновой спектральной области под действием порфиринов и хлорофиллов.

В 1954 г. под руководством Александра Абрамовича на кафедре биофизики МГУ были начаты работы по фотобиологии белков. Исследовались преимущественно спектральные и фотохимические свойства ароматических аминокислот - изолированных и включенных в белковую молекулу. Было выяснено влияние структуры белка на параметры люминесценции ароматических аминокислот. Это научное направление получило развитие в докторских диссертациях С.В.Конева, исследовавшего люминесценцию ароматических аминокислот, и Ю.А.Владимирова, который изучал первичные фотохимические реакции в ароматических аминокислотах и белках. Фотобиологическим проблемам были посвящены докторские диссертации А.Б.Рубина и Э.А.Бурштейна.

Проблема фотообразования водорода в клетках фотосинтезирующих организмов, в хлоропластах и модельных системах вызывает ныне большой интерес в связи с проблемой использования солнечной энергии. Проведенные в лаборатории А.А.Красновского исследования фотообразования водорода одноклеточными водорослями подтвердили выводы о тесной связи этого процесса с углеродным метаболизмом клетки и позволили выяснить условия взаимодействия функций фотосинтетического выделения кислорода и водорода.

Изучая систему хлоропласты - бактериальная гидрогеназа, А.А.Красновский и В.В.Никандров нашли условия наиболее эффективного выделения водорода в этой системе. Им удалось создать модельные системы фотовыделения водорода, в которых используются хлорофилл, солюбилизованный в мицеллах детергентов, метилвиологен, доноры электрона и бактериальная гидрогеназа. Подобные системы были созданы с использованием неорганических фотокатализаторов - электронных полупроводников, таких, как двуокись титана и окись цинка. Дальнейшая разработка этой проблемы имеет перспективы технического использования.

Под влиянием эволюционных идей, развиваемых в Институте биохимии, А.А.Красновский проводит большой цикл исследований путей химической и

биологической эволюции фотосинтеза в связи с проблемой происхождения жизни. Его интересуют условия абиогенного синтеза порфиринов из пиррола и формальдегида. Используя измерения спектров флуоресценции, удалось обнаружить в продуктах этой реакции наряду с порфиринами хлорины и бактериохлорины, а также каталитическое действие компонентов твердой фазы на образование порфиринов.

Основываясь на гипотезе о первичном возникновении гетеротрофных организмов с последующим появлением фотосинтеза, А.А.Красновский в 1957 г. предположил возможность промежуточной световой активации гетеротрофного обмена путем светового возбуждения некоторых коферментов. Эти предположения были им развиты и подтверждены в цикле экспериментальных исследований по световой активации восстановленных пиридиннуклеотидов и других коферментных систем.

В связи с возможностью первичного использования при химической эволюции фотосенсибилизаторов, отличных от порфиринов, А.А.Красновский в течение многих лет интересуется фотосенсибилизирующим действием неорганических компонентов земной коры. Применяя окислы цинка, титана и вольфрама, А.А.Красновскому и Г.П.Брин удалось моделировать разные типы переноса электрона, к которым способны хлоропласты. Так, водные суспензии окислов цинка, титана и вольфрама в присутствии акцепторов электрона (соединений окисного железа, хинонов) под действием ультрафиолетового света способны к выделению кислорода (модель реакции Хилла), восстановлению кислорода (модель реакции Мелера), фотовосстановлению метилвиологена (модель фотосистемы I). В присутствии бактериальной гидрогеназы в этой системе наблюдалось выделение водорода. Эти системы представляют интерес для моделирования возможных стадий химической эволюции. Для работ А.А.Красновского характерно исследование фотобиологических систем в филогенетическом аспекте и на разных уровнях молекулярной организации - от модельных систем с изолированными фоторецепторами до хлоропластов, хроматофоров и живых фотосинтезирующих клеток. Он стремится к созданию модельных систем, воспроизводящих наиболее характерные черты биологических структур.

Научный стиль исследования А.А.Красновского определяет тенденция к однозначному решению задачи простейшими экспериментальными средствами. Под его руководством в Институте биохимии АН СССР им. А.Н.Баха, Институте фотосинтеза АН СССР и МГУ им. М.В.Ломоносова был создан из блоков целый ряд уникальных спектральных приборов, применение которых во многом определило успехи руководимых им лабораторий.

А.А.Красновский с большим увлечением занимается педагогической деятельностью. Еще в школе он активно преподавал в кружках по ликвидации безграмотности. Работая на химическом заводе и участь без отрыва от производства на вечернем факультете Менделеевского института, он находил время, чтобы вести курсы повышения квалификации мастеров на заводе. Окончив институт и будучи аспирантом, он читал курсы лекций по физической и органической химии в Институте повышения квалификации инженерно-технических работников.

В 1954г. ректор МГУ академик И.Г.Петровский и профессор Б.Н.Тарусов пригласили А.А.Красновского в Московский университет для чтения лекций и подготовки аспирантов. На биологическом факультете Московского университета при его непосредственном участии была создана кафедра биофизики и физико-химической биологии. С тех пор и по настоящее время он - профессор биологического факультета МГУ.

А.А.Красновский уделяет большое внимание привлечению в науку молодежи, отдавая много сил подготовке научных кадров. Несмотря на свои многочисленные обязанности, он лично руководит студентами и аспирантами, вникая во все детали эксперимента, вдохновляя учеников своей любовью к экспериментальной работе. Многие годы он читает лекции и ведет занятия со студентами разных курсов, которые впоследствии стали его сотрудниками и последователями. Под его руководством

подготовлено более 50 кандидатов наук, многие из них защитили докторские диссертации. Его ученики работают в союзных республиках и странах социализма. Они - директора институтов, заведующие кафедрами высших учебных заведений, руководители лабораторий. А.А.Красновский оказал исключительно сильное влияние на развитие фотобиологии и на создание советской школы фотобиологов.

А.А.Красновский отдает много сил и энергии организации и координации работ по фотосинтезу и биологическому использованию солнечной энергии в Комиссии по фотосинтезу, которая была организована в 1947 г.; он - заместитель председателя Научного совета по проблемам фотосинтеза и фотобиологии растений АН СССР и руководитель секции фотосинтеза Совета по использованию солнечной энергии.

В течение ряда лет А.А.Красновский является членом Центрального совета Всесоюзного биохимического общества и непременным организатором секции фотосинтеза на всех всесоюзных биохимических съездах.

Академик А.А.Красновский способствует развитию исследований по биологическому преобразованию солнечной энергии, будучи членом многих научных и ученых советов.

А.А.Красновский активно участвовал в организации Института фотосинтеза АН СССР в Пущине, занимаясь подготовкой кадров и организацией лабораторий.

Большое место в научной деятельности А.А.Красновского занимает издательская и редакционная работа. Он - главный редактор журнала "Биофизика", член редакционных коллегий советских и международных журналов, редактор ряда книг и сборников.

А.А.Красновский активно участвует в международном сотрудничестве по проблемам фотосинтеза в рамках Совета Экономической Взаимопомощи и в подготовке высококвалифицированных специалистов.

Работы А.А.Красновского получили широкое признание за рубежом. Он представляет советскую науку на многих международных конгрессах в качестве пленарного докладчика или председателя симпозиумов; как член Исполнительного комитета Международного фотобиологического общества и Международного общества по происхождению жизни, принимает участие в работе международных научных организаций; в 1977 г. он был избран вице-президентом этого общества.

Александр Абрамович пропагандирует научные знания, являясь автором многих популярных статей и лекций, а также членом Центрального совета общества "Знание".

В 1962 г. А.А.Красновский был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР, а в 1976 г. - академиком. Он - член иностранных академий и научных обществ.

В 1950 г. ему была присуждена премия им. А.Н.Баха по физической химии (вместе с А. Н. Терениным), а в 1975 г. - премия им. А.Н.Баха по биохимии.

За заслуги в развитии советской науки А.А.Красновский награжден орденами Трудового Красного Знамени и "Знак Почета" и многими медалями.

В настоящее время А.А.Красновский с увлечением разрабатывает проблемы биологического и химического использования солнечной энергии, повышения эффективности фотосинтезирующих организмов и создания модельных систем, использующих принципы фотосинтеза растений.