

Ультрафиолетовое излучение: - его биологическая воздействие, приемники.
(методическое пособие по разделу «оптика» для студентов ИСФ)

Л.П.Круковская

Введение

Ультрафиолетовая область излучений (УФ) охватывает длины волн от 9 до 400нм. УФ излучение обладает способностью активировать любые атомы (молекулы), с которыми взаимодействует, возбуждая в них электроны, и, тем самым, инициировать фотохимические превращения в облучаемом веществе.

УФ называют излучением тысячи применений Излучения длин волн меньше 200 нм сильно поглощаются всеми материалами, особенно с $\lambda < 120\text{нм}$, поэтому их отдельно практически не используют. По основным областям применения для человека (см рис.1) УФ излучение простирается от 120 нм и делится на УФ-С - 120 -280 нм, УФ-В - 280 -320 нм, УФ - А - 320 -400нм. Область С содержит излучения, обладающие бактериальным действием, применяемые для стерилизации воздуха и воды, для предохранения продуктов от порчи, излучения , обладающие свойством озонировать воздух, излучения, на использовании которых основано действие источников света - люминесцентных ламп. Средняя область В характеризуется антираhitным действием на организм, регулирует обмен веществ в живом организме , благотворным действием на рост домашней птицы и животных, а также эритемным эффектом, т.е. способностью

вызывать покраснение и загар человеческой кожи. Ближняя область УФ А содержит излучения, широко применяемые для люминесцентного анализа, а также возбуждения светящихся веществ в сигнальных, декоративных и других устройствах. Деление это не слишком строгое, так как свойства УФ радиации, приписанные одной области, присущи часто и соседним областям, но в меньшей мере.

В технике УФ используется для: а) фотографирования и светокопирования, б) отбеливания, в) производства витамина Д из эргостерина, г) изготовления люминесцентных источников света и т.д. Облучение УФ вызывает характерное свечение (люминесценцию), которое применяется для идентификации материалов при их сортировке по свойствам, чистоте и происхождению, например, в дефектоскопии для обнаружения пор и трещин в отливках и сварных швах, в криминалистике - для выявления подделки денег, документов, так как небольшие изменения в сортах бумаги и красок проявляются в люминесценции, в искусствоведении - при исследовании и восстановлении старых картин и пергаментов.

В этой работе будут кратко рассмотрены лишь некоторые аспекты УФ излучения : его источники, приемники и отдельные вопросы взаимодействия с объектами живой природы.

1. Механизм взаимодействия фотона с веществом.

Квантовая природа взаимодействия УФ излучения с молекулой (атомом) выражается в том, что вся энергия, заключенная в кванте света, поглощается молекулой сразу (10^{-14} с), причем в зависимости от ее величины возможны следующие результаты (см. рис.2). Видно, что кванты УФ излучения обладают такой энергией, что её достаточно для диссоциации молекулы и возбуждения

атома. Кванты света в коротковолновой УФ области способны возбуждать не только электронные переходы в пределах валентной оболочки, но и состояния с большим главным квантовым числом n 10 - 100. Такие электронно-возбужденные состояния называются ридберовскими состояниями. и были рассмотрены в статье Н.Б.Делоне «Ридберовские атомы» см. « Соросовский журнал» №5 1998 год. Молекула (атом) может поглощать только те кванты, энергия которых соответствует возможному переходу между состояниями своего энергетического спектра.

Поглощение фотона - одноэлектронный одноквантовый физический процесс. При поглощении фотона УФ излучения молекула M возбуждается. Этот процесс $M + h\nu \rightarrow M^*$ соответствует переброске электрона в более высокое состояние , M^* - возбужденное состояние. M^* не отличается от обычного M ни химическим составом, ни строением, но имеет несколько деформированную электронную оболочку и содержит избыточный запас энергии $E_{M^*} - E_M = E_M = h\nu$

Установлено, что фотохимические превращения испытывают молекулы не в основном M , а в электронно-возбужденном состоянии M^* . Возбужденное состояние молекулы существует примерно $10^{-7} - 10^{-8}$ с , затем молекула (атом) отдает эту энергию либо излучательным путем (люминесценция), либо безизлучательно другим атомам и молекулам, либо вступает в химические реакции. Так, возбужденные органические молекулы могут участвовать затем в процессах фотораспада $M^* \rightarrow M + h\nu$, фотодимеризации (объединение) $M^* + M \rightarrow (M^* \cdot M) \rightarrow M + M + h\nu$ фотоокисидирования $M^* + O_2 \rightarrow (M^* \dots O)$ и т.д. Вызвать фотохимические реакции может только поглощение фотона, а количество образовавшихся продуктов определяется дозой -

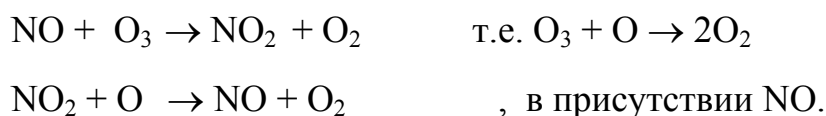
произведением интенсивности падающего излучения на время облучения.

Итак, характерные значения энергий УФ излучения таковы, что способны переводить молекулу (атом)-акцептор в возбужденное состояние. При обратном переходе высвечивается энергия в виде фотонов. Взаимодействие фотонов излучения с атомами экспериментально и теоретически изучается в атомной спектроскопии. Установлено, что уже во многоэлектронных атомах основную роль играют многочастичные взаимодействия. По мере усложнения структур, облучаемых УФ, растет сложность анализа взаимодействия структуры с УФ излучением.

2 Источники ультрафиолетового излучения **(естественные и искусственные).**

Естественным источником электромагнитных волн, доходящих до Земли, является Солнце. Солнце представляет собой, находящийся в газообразном состоянии, раскаленный шар. Спектр его излучения сплошной и, в общих чертах, совпадает со спектром излучения абсолютно черного тела, нагретого примерно до 5800К. Максимум излучения находится в синезеленой области спектра при 460 нм, что соответствует максимуму чувствительности зрения человека. Солнечное излучение поглощается уже в наружных слоях Солнца и до Земли доходит примерно 0.132 Вт/см^2 . Далее солнечное излучение частично поглощается в земной атмосфере, основными компонентами которой являются азот и кислород в соотношении 4:1. Солнечное излучение, в основном его коротковолновая часть -УФ, обладает очень важной, с биологической точки зрения, способностью изменять газовый состав атмосферы. При взаимодействии с солнечным излучением преобладающая часть химических реакций происходит с

кислородом O_2 . Молекулярный кислород легче всего диссоциирует при поглощении излучения в области 100-200нм, максимальной скорости распада соответствует высота примерно 100км. Атомы, образовавшиеся в процессе фотораспада, обладают большой химической активностью и являются активными центрами цепных реакций, приводя к возникновению новых частиц, в частности, атомарный кислород может взаимодействовать с атомами и молекулами кислорода. В первом случае происходит рекомбинация и восстанавливается молекула O_2 . Для установившегося равновесия характерен баланс распада и рекомбинации. Спектр поглощения O_2 состоит из серии полос, начиная с $\lambda = 193,5 - 202$ нм, сильнее поглощаются лучи с $\lambda = 186$ нм, поэтому коротковолновая область спектра солнечного излучения, доходящего до земной поверхности, укорачивается до $\lambda = 200-220$ нм. В результате взаимодействия атомарного кислорода с молекулами O_2 может образоваться молекула озона O_3 . Образующийся озон находится, в основном, на высоте 40-70 км, (в среднем -50км), толщина слоя примерно 3мм. Излучение длин 175-290нм почти полностью поглощается в озонном слое, который работает как фильтр, защищающий Землю от УФ излучения. Наименьшая наблюдавшаяся длина волны солнечного излучения на Земле составляет 286нм, она была выявлена в полярной области. В настоящее время известно множество реакций, приводящих к разрушению озона. Одной из них является



Хотя в атмосфере Земли в естественных условиях очень велика относительная роль азота, но для формирования окислов азота типа NO требуются довольно высокие температуры. Такие

температуры в настоящее время достигаются при ядерных взрывах и за счет работы реактивных двигателей. Другой тип реакций, вызывающих разрушение озона, связан с атомарным хлором. Естественный уровень хлора в атмосфере весьма низок, хлор поступает в атмосферу главным образом из океана ($2 \cdot 10^7$ тонн в год), но вымывается в виде атмосферных осадков. Более опасным для озонового слоя являются некоторые соединения хлора (фреон 11 (CFCl_3), фреон 12 (CF_2Cl_2), хлорвинил, и т.д.), которые под действием УФ солнечной радиации разлагаются, выделяя атомарный хлор. Фреоны поступают в атмосферу из различных промышленных и бытовых установок (холодильники, кондиционеры), при производстве товаров в аэрозольной упаковке и могут сохраняться в верхних слоях атмосферы до 100 лет.

Озонный экран, преградивший доступ коротковолновому УФ излучению к земной поверхности, не всегда существовал в земной атмосфере. Согласно гипотезе академика А.И.Опарина, первичная восстановительная атмосфера начала заменяться кислородной около 1,5 млрд. лет назад. Тогда, в бескислородных условиях, ультрафиолетовое излучение Солнца, являясь постоянным источником энергии, играло решающую роль в формировании того органического материала, из которого позднее сформировались первичные организмы. Ориентировочные оценки для первобытной Земли, учитывающие более высокую температуру Солнца и отсутствие ультрафиолетового экрана над Землей, показали, что поверхность Земли получала в год за счет УФ облучения с $\lambda = 250\text{нм} - 600\text{нм}$ 250 кал/см^2 , за счет электрических разрядов в атмосфере 4 кал/см^2 , тепловой энергии вулканического происхождения $0,13 \text{ кал/см}^2$ и ионизирующего излучения космоса $0,8 \text{ кал/см}^2$. Энергия излучения использовалась не только на

преодоление активационных барьеров химических превращений, но и запасалась в продуктах реакций, создавая условия для протекания реакций синтеза. Длинноволновая граница поглощения CO - 130 нм, H₂O - 140 нм, метана 147 нм, аммиака - 220 нм. Экспериментально доказана возможность синтеза в простейших смесях, имитирующих состав добиологической земной атмосферы, под действием ультрафиолетовых лучей таких соединений, как этан, пропан, ацетилен, формальдегид, мочевины, которые составляют промежуточный этап синтеза более сложных биологических молекул. По мере усложнения молекулярной организации спектр поглощения сдвигался в длинноволновую часть спектра, смещая границу фотоактивного солнечного света.

Начавшееся истощение озонового слоя будет существенно влиять на экологическую обстановку на Земле. Согласно оценкам, уменьшение среднего содержания озона на 5% увеличит падающую на Землю радиацию с длинами до 300 нм на 10%, что может привести к 10% увеличению случаев рака кожи. Усиление УФ излучения отрицательно сказывается на адаптации и миграции, подавляет процессы размножения и развития всех форм жизни на Земле. Из 200 видов растений - 2/3 чувствительны к ультрафиолету, наиболее сильно - семейство тыквенных (огурцы, тыквы), бобовых (горох, соя), лучше всего переносят увеличение дозы УФ излучения подсолнечник, хлопчатник. УФ излучение прежде всего поражает икру и мальков, личинки креветок и устриц, крабов. Это весьма ощутимо для человечества, так как потребление рыбы в странах Европы составляет примерно 20%, а в странах Азии эта доля доходит до 70%. Отсюда видно, что возможное разрушение озонового слоя, который защищает все живое на Земле от губительного воздействия жесткой

ультрафиолетовой радиации представляет собой глобальную проблему.

Помимо способности изменять химический состав внешней среды, УФ является и ионизатором воздуха, вызывает ионизацию газов в верхних слоях атмосферы, что обуславливает ее высокую проводимость. Кроме того, УФ, проходя через земную атмосферу, встречает на своем пути твердые и жидкие поверхности (частички облаков, пыли, дыма) и вызывает фотоэлектрический эффект, выбивая электроны. Эти электроны, соединяясь с молекулами воздуха, также создают отрицательные ионы, что также повышает проводимость верхних слоев атмосферы. Химическое и ионизирующее действие УФ радиации приводит к возникновению ядер конденсации в атмосфере, которыми обусловлены многие гидрометеорологические явления на Земле.

Таким образом, с одной стороны, земная атмосфера служит фильтром, защищая Землю от высокоэнергетичных фотонов коротковолновой части солнечного спектра и существенно изменяет состав дошедшей до Земли радиации, с другой стороны, сама является результатом этого действия.

По оценкам, УФ поток, составляет не более 1.5% общей солнечной энергии, достигающей поверхности Земли. Кроме процессов поглощения, часть излучения при прохождении сквозь атмосферу, рассеивается молекулами воздуха и мелкими частицами, взвешенными в нем. Рассеяние излучения зависит от длины волны, особенно этот эффект проявляется в УФ области спектра. Лучи отклоняются от первоначального направления, не теряя при этом своей энергии и достигают земной поверхности через излучение неба. Излучение неба оказалось практически постоянным до высот 3300м. Излучение неба составляет от 50 до 80% общего излучения

Солнца и неба, поэтому даже в тени можно получить загар. Почти вся потребность человеческого организма в УФ излучении все же покрывается за счет естественной радиации Солнца. Однако содержание УФ -лучей в солнечном спектре подвержено большим изменениям (сезонные колебания по интенсивности, широте местности, потери за счет запыленности воздуха, особенно в условиях промышленных городов), поэтому в целях профилактики и коррекции УФ недостаточности и для исследовательских целей большую роль приобретают искусственные источники УФ.

Искусственные источники УФ.

Искусственные источники в УФ области спектра разделяются на температурные, газоразрядные и люминесцентные.

Температурным источником электромагнитного излучения является любое нагретое тело. Широко используемые лампы накаливания имеют температуру 2000-3000К, так что их излучение лежит, в основном, в инфракрасной области спектра, сравнительно небольшая доля его приходится на видимую область и совсем ничтожная—на ультрафиолетовую. С повышением температуры источника происходит увеличение доли ультрафиолетовой составляющей. Большой мощностью УФ потока обладает угольная дуга, благодаря более высокой температуре 4000К. В пламени кислородно-ацетиленовой или кислородно-водородной горелки достигается температура выше и твердые тела, нагретые им, могут излучать УФ. В плазменной горелке может быть достигнута температура свыше 6000К, в результате чего возникает интенсивное ультрафиолетовое излучение.

Наиболее распространенными в технике ультрафиолетовыми излучателями являются газоразрядные источники. Их спектр состоит преимущественно из линий (линейчатый спектр), причем

значительная часть энергии излучения приходится на ультрафиолетовую область спектра. Газоразрядных излучателей сконструировано очень много, в основе действия их всех лежит один принцип, основанный на квантованности состояний электронов в атомах. С помощью электрического поля проводится возбуждение атома, т.е. электрон в атоме переводится в более высокое энергетическое состояние, после чего электрон спускается в более низкое энергетическое состояние, высвечивая разницу энергий состояний в виде фотона, как раз эта разница энергий в атоме соответствует энергиям ультрафиолетового диапазона. Среди разрядов в газах и в парах металлов, применяющихся для получения УФ, разряд в парах ртути имеет наибольшее значение, так как он дает в УФ спектре наибольшее количество интенсивных линий. В зависимости от давления паров ртути различают - разряд низкого давления, происходящий при давлении 0.01-1мм.рт.ст. и разряд высокого давления, происходящий при давлении паров от 100 мм.рт.ст. до нескольких атмосфер. Спектры излучения высокого и низкого давлений содержат одни и те же линии, различаются лишь по интенсивности. Большая часть излучаемой энергии в ртутных лампах низкого давления приходится на λ 253.7нм, что почти соответствует максимуму бактерицидной эффективности, поэтому они используются для борьбы с микробами (см. далее). Ртутные лампы высокого давления дают более интенсивные линии при длинах волн 254,297, 303, 313, 365нм, а линия 253.7 теряет свое преобладающее значение. Такие источники УФ используются в фототерапии кожных болезней и в промышленности - в фотохимических реакторах, в печатном деле. Среди других газоразрядных ламп чаще используются ксеноновые

лампы высокого давления потому, что спектр их излучения близок к спектру Солнца над стратосферой.

В люминесцентных лампах ультрафиолетовое излучение, генерируемое ртутным паром в инертном газе при низком давлении активирует люминесцентный материал (люминофор), покрывающий внутреннюю поверхность стеклянной трубки. Люминофор преобразует коротковолновое УФ излучение в длинноволновое или видимый свет в зависимости от используемого люминофора, от давления газа в лампе. Люминесцентные источники делятся на : люминесцентные солнечные лампы и источники « черный свет». Люминесцентные солнечные лампы содержат люминофор, излучающий в основном при длине волны $\lambda = 340\text{нм}$. Диапазон длин волн генерируемого излучения лежит от 275 до 380нм. Этот источник эффективен с точки зрения « загара». Преимущество- возможность получения однородного поля значительной протяженности. В источнике «черного» света используемый люминофор излучает энергию в диапазоне 300-410нм с максимумом в области 350-365нм. Эти лампы используются для свечения люминесцентных красок и для фототерапии кожи с фотоактивными лекарственными веществами.

Источники излучения в области УФ имеют либо линейчатый, либо смесь сплошного и линейчатого спектров. Из сложного излучения выделить излучение узкого спектрального состава удастся с помощью фильтров. В УФ области нейтральными фильтрами для ослабления излучения чаще всего служат тонкие слои платины на кварцевом стекле или металлические сетки.

3. Приемники ультрафиолетового излучения.

Для обнаружения и измерения УФ излучения используют приборы, основанные либо на физических, либо на химических или биологических эффектах. Приборы, использующие физические принципы, делятся на радиометрические и фотоэлектрические. В радиометрических приборах фиксируется тепловое действие падающего излучения. Принцип действия тепловых (неселективных) приемников основан на том, что при повышении температуры изменяется тот или иной параметр материала приемника, например, 1 - величина сопротивления - в боллометрах, 2 - появляется термоэдс, т.е. напряжение на концах приемника - в термостолбиках, 3 - в пироэлектрических приемниках изменяется величина спонтанной поляризации вещества. Селективные приемники излучения, к которым относятся фотоэлементы с запирающим слоем и фотосопротивления, основаны на эффекте генерации электронов при поглощении фотонов. Они обладают резко выраженной зависимостью от длины волны падающего излучения и большим быстродействием. Одним из современных фотоприемников в УФ области является поверхностно-барьерный диод на n-GaP.. В таком фотодиоде фототок в области 290-380нм слабо зависит от энергии фотонов и линейно зависит от плотности потока излучения. Квантовая эффективность таких диодов достигает 0.4 эл/фотон. Физические детекторы, применяются, в основном, для измерения интенсивности мгновенного излучения, тогда как химические и биологические детекторы используются для определения дозы облучения. Наиболее простым детектором ультрафиолетового излучения является простая фотопластинка, и именно, по действию на фотопластинку ультрафиолетовые лучи были выявлены в 1801году. Нормальные фотографические слои

чувствительны к УФ до 200нм, а со стороны больших длин волн до синей, желтой, или инфракрасной области, в зависимости от качества фотоэмульсии. Приборы, использующие химические процессы, называются актинометрами. Они измеряют либо скорость фотохимического расщепления щавелевой кислоты под действием УФ в присутствии ацетата уранила. или количество йода, выделившегося под действием излучения из раствора йодистого калия, подкисленного разбавленной серной кислотой. Биологическими приемниками УФ излучения могут быть все живые организмы.

4. Взаимодействие излучения с живой природой.

Наибольший интерес среди веществ, с которыми мы встречаемся в природе, занимают органические вещества, содержащие углерод. Необычайное разнообразие соединений углерода объясняется способностью атомов углерода соединяться с другими атомами, формируя длинные цепочки из сотен и тысяч звеньев, часто встречаются замкнутые кольца углерода, к которым присоединяются другие атомы. Эту разновидность соединений углерода широко использует живая природа. Название «органические (живые)» вещества сохранилось со времени, когда считали, что подобные соединения возникают под действием «жизненной силы», присущей только живым организмам и недоступной экспериментальным исследованиям, но в 1828 году Ф.Велер синтезировал первое органическое соединение, получившее название «мочевина». С тех пор химики искусственным путем получили множество простых и сложных органических соединений. Выяснено, что в человеческом организме нет ни одного атома, который хоть немного отличается

от атомов, встречающихся в неживой природе, и нет ни одной молекулы, которую нельзя было бы получить искусственно в лаборатории. То, что делает живой организм «живым» - это удивительная согласованность протекающих в нем бесчисленных биофизических и биохимических процессов. Нарушение этой согласованности приводит к смерти организма.

Живая природа - очень трудный объект для изучения влияния УФ излучения, так как представляет собой не однородное целое, а неисчислимое множество разнообразных видов, состоящих из огромного числа клеток. Чаще всего поглощение УФ излучения играет роль «завода» целого ряда световых и темновых реакций, влияющих друг на друга. К настоящему времени собрано огромное количество экспериментальных данных о влиянии УФ излучения на бактерии, споры, тканевые культуры, растворы различных белковых и химических соединений, объекты живой природы и, конечно, человека. Расшифровка молекулярных механизмов фотобиологических реакций стала возможной благодаря расчленению клетки на фрагменты с выделением ее частей (мембран, макромолекул,..) в чистом виде (хроматография, ультрацентрифугирование,..) и разработке прецизионных физических, фотохимических, биохимических методов исследования (дифференциальная спектрофотометрия, спинновая метка, электронный парамагнитный резонанс и т.д.).

Для изучения роли разных акцепторов излучения - хлороформов - проводится изучение влияния УФ на отдельные клетки и простейшие (бактерии, споры). В состав любой клетки входят вода, минеральные соли, биологические полимеры: белки, нуклеиновые кислоты, углеводы, жиры. Сборная целостность клетки обеспечивается, в основном, относительно слабыми

водородными, ионными и ван-дер-ваальсовыми силами. В последовательности действия УФ на клетку в зависимости от дозы облучения можно выделить 3 три этапа : 1 - возбуждение и усиление деления, обмена, 2- начало деструктивных изменений в клетке в виде зернистости, 3 - гибель. Летальное действие УФ излучения характерно для животных, растений, микробов и одноклеточных организмов (простейшие,..). Для действия УФ излучения характерен эффект последствия. Этот эффект выявлен сейчас для всего ряда биологических объектов от бактерий до клеток млекопитающих. При использовании летальных доз оно проявляется в отдалении от момента облучения гибели клетки, при меньшей степени - в длительном угнетении их деления и других функций. Так, одноклеточные организмы погибают только спустя 1 - 3 недели после облучения.

Для выявления первичных акцепторов излучения изучают спектр фотохимического действия и сравнивают его со спектрами поглощения предполагаемых участников реакции. Так, впервые из сравнения спектров действия гибели бактерий, мутаций у кукурузы со спектрами поглощения составляющих клетки было выяснено, что основной мишенью при летальном и мутагенном действии являются нуклеиновые кислоты, которые играют основную роль в передаче наследственной информации. Другими хромофорами в клетке оказались белки и липиды (жиры). Результат действия на белки состоит в фотоинактивации, т.е. потере активностей (ферментативной, регуляторной, гормональной, и т.д.). Установлено, что коротковолновое УФ излучение действует, в основном, на белки ядра, а длинноволновое - на белки цитоплазмы. Действие УФ излучения на липиды принципиально отличается от действия на белки и нуклеиновые

кислоты, фотоинактивация которых мало или совсем не зависит от присутствия кислорода. Ненасыщенные жирные кислоты обладают спектром действия λ 220 нм и они легко окисляются кислородом воздуха, который присоединяется к углеродному атому.

В результате эволюционного процесса, в котором УФ излучению Солнца, принадлежит весьма важная роль, возник целый ряд механизмов, защищающих клетку от повреждающего действия солнечных лучей. Это- фото и темновое восстановление, снижение в ДНК количества УФ -чувствительных оснований, появление в клетках пигментов, дублирование генного набора. Фотовосстановление (фотореактивация) состоит в том, что под действием видимого света в клетках залечиваются повреждения, индуцированные ультрафиолетом. Спектр действия реактивации бактерий составляет 300-500нм с максимумом при 380 нм, в лимфоцитах человека спектр фотореактивационного света лежит в диапазоне 300-600 с максимумом при 400 нм.

Воздействие УФ на человека

Лечебное действие солнечных лучей на организм человека давно известно. Указания о лечебном действии солнечного света можно найти еще у Геродота (484-425 гг. до н.э.). Первым врачом , рекомендовавшим применение солнечных ванн в лечебных и профилактических целях считают Гиппократ. Хотя основными приемниками излучения у человека являются кожа и глаза, но действие солнечной энергии на человека состоит из множества совокупно действующих факторов. В настоящее время обычно выделяют следующие области применения УФ радиации:

1) бактерицидную, 2) эритемную , 3)антирахитную.

1. Бактерицидное действие.

Известно, что в воздухе обитаемых людьми помещений всегда присутствуют в значительном количестве болезнетворные микробы, находящиеся во взвешенном состоянии. Проникая в организм человека через дыхательные пути, они вызывают аэрогенные инфекционные болезни: грипп, пневмонию и т.д. .. Если рассматривать бактерии как своеобразный приемник излучения, то этот приемник обладает наибольшей чувствительностью в области 253,7 - 265,4 нм.. Известно, что при воздействии излучения с $\lambda = 253,7$ нм и мощности 0.01вт в объеме воздуха 30м за 1 минуту убывает 63% микробов, за 10 минут 99.99%.. УФ излучение одних и тех же длин волн и одинаковой интенсивности обладают селективным бактерицидным действием, т.е. доза, которая убивает один тип бактерий, оказывает лишь угнетающее действие на других. Изменения, происходящие под действием УФ излучения в бактериях и низших организмах, проходят следующие три стадии: возбуждение и усиление движения, начало деструктивных изменений, смерть клетки в результате фотохимических процессов. Кривая бактерицидной эффективности УФ излучения соответствует спектру поглощения нуклеиновых кислот, т.е. мишенью УФ являются молекулы ДНК.

Бактерицидным эффектом УФ пользуются для санации и дезинфекции различных объектов внешней среды - воздуха, воды, пищевых продуктов и тары, хирургического оборудования. Роль УФ в борьбе с микробами не ограничивается только губительным действием на внешнюю среду, но проявляется и в повышении иммунологических свойств организма, так в облученных УФ помещениях наряду с уменьшением количества бактерий воздуха, уменьшается тяжесть и средняя длительность заболевания находящихся там людей.

2. Эритемное действие.

У млекопитающих действию УФ подвергаются, в первую очередь, глаза и кожа. Благодаря высокому содержанию поглощающих свет веществ (белки, нуклеиновые кислоты, пигменты ,.), а также неоднородностям, кожа за счет поглощения, отражения и рассеивания ослабляет внешнее излучение. Самый верхний слой кожи - роговой слой- состоит из неживых клеток, не имеющих ядер и представляет собой, в значительной мере, мертвую ткань, лишенную собственного обмена веществ, но находящуюся в состоянии диффузионного обмена с расположенными глубже живыми слоями кожи. На рис.3 представлены спектральные зависимости пропускания кожи. Роговой слой неживых клеток служит фильтром, защищающим нижние живые слои от воздействия УФ излучения длин волн меньше 200-210нм.

Биологическое действие УФ на кожу проявляется в возникновении эритемы и пигментации. Ультрафиолетовая эритема определяется как покраснение кожи из-за расширения капилляров. В отличие от тепловой эритемы, возникающей вслед за интенсивным нагревом кожи, УФ -эритема проявляется по прошествии некоторого времени (латентный период). Интенсивность эритемы возрастает до некоторого максимального значения, а затем уменьшается. Прозрачность различных участков кожи зависит от толщины наружного рогового слоя: проникающие в него лучи с $\lambda \sim 200-250\text{нм}$ вызывают эритему, лучи с $\lambda 250-270\text{нм}$ проходят через зернистый слой, вызывая пигментацию и эритему, лучи с $\lambda 270-320\text{нм}$ проникают до сосудистого слоя, вызывая обильную пигментацию и эритему, стимулируют работу жировых желез и нервных окончаний кожи, лучи с $\lambda 320\div 400\text{нм}$

проходят через дерму, вызывая пигментацию. До подкожной клетчатки доходят лучи с λ 390-400нм, производя тепловой эффект и, вызывая покраснение кожи за счет переполнения кровью сосудистого слоя. Продолжительность латентного периода и характер изменения интенсивности покраснения во времени зависит от спектрального распределения энергии источника УФ излучения. между облучением и образованием эритемы. Эритема, вызванная УФ лучами, заканчивается пигментацией облученного участка кожи, т.е. загаром. Известно, что для образования минимально заметной эритемы, необходимо 4.8 мкал./см² при 269.7нм. Частично загар связан с миграцией поверхностного меланина, находящегося в базальных клетках, в поверхностные слои кожи. В настоящее время распространена теория, что эти гранулы меланина служат защитным экраном от УФ излучения более важным, чем толщина ороговевшего слоя.

Эритемная реакция кожи зависит от патологических процессов, происходящих в организме человека, резкое снижение фоточувствительности кожи наблюдается при гипертрофии, инфекционных заболеваниях. Изменение функционального состояния кожных рецепторов, поражение спинного мозга и т.д. изменяет эритемную реакцию. Так, облучение УФ во время наркоза дает резкое ослабление эритемы, повреждение спинного мозга влечет за собой угнетение эритемы ниже повреждения. В период развития и формирования эритемы наблюдается снижение порога болевой чувствительности, что позволяет применять её в качестве анальгезирующего средства. Разрушение большого количества живых клеток при УФ облучении вызывает известное раздражение, так как разрушенные клетки должны быть удалены или восстановлены. В результате этого усиливается активность

ферментов, гормонов, витаминов в слоях кожи, прилегающих к поверхности, т.е. усиливаются все обменные процессы. Таким образом, УФ эритема является сложным нервно-рефлекторным процессом, находящимся в зависимости как от периферической, так и от центральных отделов нервной системы. Все это является основанием широкого применения эритотерапии в клиниках внутренних и нервных заболеваний. С другой стороны, превышение безопасных доз УФ облучения приводит к злокачественным новообразованиям, к серьезнейшим заболеваниям глаз, кожи и других органов.

3. Антирахитное действие.

Другим физиологическим эффектом УФ излучения является антирахитное действие. Известно, что отсутствие солнечной радиации может привести к развитию патологического состояния, известного как «световое голодание» или недостаточность витаминов Д. При авитаминозе Д ухудшается фосфорно-кальциевый обмен, наблюдается снижение механической прочности костей, кариес зубов, склонность к костным переломам, у детей развивается рахит. При облучении λ 280 ÷ 302 нм в коже образуются витамины группы Д. Они оказывают существенное влияние на деятельность фермента фосфатазы, активируя её, что способствует мобилизации неорганического фосфора и связыванию кальция крови с фосфатами, которые откладываются в костях. Минимальное количество УФ, необходимое для поддержания физиологического уровня кальция и фосфора крови, составляет 1/8 - 1/9 эритемной дозы в день.

4. Действие УФ на органы зрения.

Визуальные рецепторы млекопитающих и человека не могут обнаружить УФ излучение из-за поглощения его в глазных тканях, прежде чем оно попадает на сетчатку. Ультрафиолетовое излучение $\lambda < 300\text{нм}$, в основном, поглощается роговой оболочкой и водянистой влагой, а в хрусталик попадает лишь незначительное количество радиации этого диапазона. Роговая оболочка глаза по-разному реагирует на УФ с длинами волн 220-250нм и 250-310нм, так от $\lambda > 250\text{нм}$ симптомы глазного заболевания появлялись вскоре после воздействия УФ и через 14 часов возвращались к норме. Если длина волны $< 250\text{нм}$, то симптомы проявлялись через 9-11 часов после облучения и острота зрения была ниже нормы ~ 24 часа после прекращения воздействия. Нарушения, вызываемые коротковолновой радиацией быстро устраняются, а длинноволновая вызывает более серьезную реакцию. Экспериментально определенный порог фотокератита для человека при $\lambda > 270\text{нм}$ составляет 50 Дж/м^2 . Известно много случаев кератита роговой оболочки глаза, катаракты, обусловленных действием УФ радиации, источниками которой были сварочная дуга, солнечный свет, отражение от снега и песка, пульсирующие ртутные лампы высокого давления

Заключение.

Перечисленные области воздействия не исчерпывают все возможности УФ излучения. Так, исследования последних лет показали, что УФ облучение крови приводит к фотомодификации поверхности клеток крови, их активации и освобождению из них биологически активных веществ, улучшению микроциркуляции крови. Эти эффекты положены в основу метода аутотрансфузии УФ-облученной крови (АУФОК), который имеет большие

лечебные перспективы использования, в частности, при ишемической болезни сердца.

В этой статье лишь обозначен ряд направлений ,обусловленных действием УФ излучения. Видно, что механизм биологических реакций на УФ воздействие сложен, многообразен, зависит от дозы, методики воздействия и складывается из целого ряда процессов. Различные аспекты биологического излучения приобретают в настоящее время особую актуальность, что связано как с опасностью начавшегося разрушения озонового слоя атмосферы, так и с большей изоляцией человека от окружающей среды.

Цитируемая литература

1. Д.Н.Лазарев « Ультрафиолетовая радиация » Ленинград, Госэнергоиздат, 1950, 118с.
2. А.Мейер и Э Зейтц « Ультрафиолетовое излучение » Москва, ,Изд-во иностранной литературы, 1952, 459с .
3. Р.Гуди, Дж.Уокер « Атмосферы » М. Мир, 1975, 186с

4. Н.Ф.Галанин « Лучистая энергия и её гигиеническое значение» , Медицина, 1959 , 213с
5. «Биологическое воздействие ультрафиолетового излучения Сб.ст., Наука, 1975, 199с
6. «Проблемы практической фотобиологии » Пушино, Академия Наук СССР ,1977, 160с.
7. «Ультрафиолетовое излучение» Выпуск 14 ВОЗ Гигиенические критерии состояния окружающей среды » Женева, 1984 , с.112 .

Аннотация

к статье « **Ультрафиолетовое излучение**»

Л.П. Круковской

Ультрафиолетовое излучение (9 - 400 нм) при взаимодействии с любыми атомами (молекулами) активизирует их путем возбуждения электронов. Такие возбужденные атомы, обладая повышенной способностью к реакциям, « запускают»

многочисленные процессы в живой и неживой природе. Некоторые аспекты этого взаимодействия рассмотрены в статье.

The ultraviolet radiation : biological influence, receivers.

Krukovskaya L.P.

The ultraviolet radiation energies are able to excite the electrons in any atoms (molecules). Such atoms give impetus to the sequence of the different chemical reactions because of its high reactional abilities. Some questions concerned with the interactions of ultraviolet radiation with different natural objects are discussed in this article.

Сведения о авторе

Лидия Петровна Круковская - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Экспериментальная физика» Санкт-Петербургского Государственного технического университета. Является автором ряда статей по физике полупроводников и атомной спектроскопии.

Подписи к рисункам статьи Л.П.Круковской
**« Ультрафиолетовое излучение ; его биологическое
воздействие, приемники излучения».**

1.Рис 1.

Относительная спектральная эффективность оптического излучения - 1- бактерицидная, 2 - эритемная, 3 - антирахитная, 4 - световая (дневное зрение), 5 - фотосинтезная.

2. Рис.2

Результаты взаимодействия фотонов излучения с атомами.

3. Рис.3

Структура и поглощательная способность кожи человека.

4. Рис.4.

Сравнение спектров действия УФ света в области 240 - 280нм

а) спектры поглощения азотистых оснований нуклеиновых кислот - пуриновых - аденин (А), гуанин (Г) и пиримидиновых - цитозин (Ц), тимин (Т), урацил (У)

б) кривая бактерицидного действия УФ света,

в) спектр действия возникновения мутаций в кукурузе.