

## ЛАЗЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ – МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ



**И.Г. Ляндрес<sup>1</sup>**  
главный специалист  
по лазерным меди-  
цинским техноло-  
гиям научно-произ-  
водственного уни-  
тарного предприя-  
тия «Научно-техни-  
ческий центр  
«ЛЭМТ» БелОМО»,  
доктор медицинских  
наук, профессор



**А.П. Шкадаревич<sup>1</sup>**  
директор научно-  
производственного  
унитарного предприя-  
тия «Научно-тех-  
нический центр  
«ЛЭМТ» БелОМО»,  
академик НАН Бела-  
руси, доктор фи-  
зико-математиче-  
ских наук, профессор



**О.Н. Мартинович<sup>2</sup>**  
инженер-програм-  
мист, ЧУП «Оптик-  
софт»



**И.А. Какшинский<sup>1</sup>**  
инженер-технолог 2  
категории научно-  
производственного  
унитарного предприя-  
тия «Научно-тех-  
нический центр  
«ЛЭМТ» БелОМО».

<sup>1</sup>Унитарное предприятие «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО», Республика Беларусь

<sup>2</sup>ЧУП «Оптиксофт», Республика Беларусь

*Abstract.* Purpose of the work: to ground the possibility of adverse effect of laser radiation on unprotected eye depending on power, wavelength, radiation mode and optical light amplification due to focusing of a crystalline lens. The most dangerous is laser radiation of IR - optical spectral range. Protection degree of eyes by goggle's light filters is defined by their optical density: optical power attenuation shouldn't exceed 1 mW for visible range, and it has to be maximum (OD-3, OD-6) for IR range.

Американский институт стандартов(ANSI) разделил лазеры на четыре класса по степени их опасности. Эта классификация легла в основу национальных классификаций.

В Республике Беларусь действуют санитарные правила и нормы 2.2.4.1.13-2-2006 «Лазерное излучение и гигиенические требования при эксплуатации лазерных изделий», в которых применяется указанная выше классификация.

Она базируется на учете выходной мощности (энергии) лазерного излучения (ЛИ) и предельно-допустимых уровнях (ПДУ) лазерного облучения глаз и кожи.

Различают лазерные изделия закрытого и открытого типа. Закрытые лазерные изделия исключают прямое воздействие на человека.

У открытых лазерных изделий ЛИ выходит в рабочую среду, претерпевая отражение, поглощение, обратное рассеивание и другие оптические эффекты в зависимости от оптических характеристик среды.

Особенно опасно ЛИ для глаз при прямом воздействии.

Различают однократное действие ЛИ и хроническое. Однократное воздействие, как правило, случайное и кратковременное, хроническое – связано с профессиональной деятельностью и представляет опасность при несоблюдении мер защиты. Фотофизические и фотобиологические эффекты действия ЛИ определяются оптическими характеристиками биоткани, параметрами и режимами работы лазерных изделий.

Возможны термическое, фотохимическое, фотоакустическое воздействие на органы зре-

ния, а также влияние на организм электромагнитного излучения, ионизации воздуха, вдыхания продуктов горения и испарения материалов, на которые падает лазерный луч, фотоожоги кожи.

Термическое воздействие на глаз обусловлено с одной стороны свойствами ЛИ, с другой – оптическими характеристиками сред глаза, которые являются прозрачными для видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов спектра. Следует учитывать, кроме того, что сетчатка обладает свойствами селективного поглощения в зеленом и, в меньшей степени, красном спектре.

Наименее опасным является ЛИ лазера первого класса с мощностью в пределах 1 мВт. Однако, даже кратковременное прямое воздействие луча такой мощности, если глаз открыт, может вызвать фотоофтальмию. При нормальном освещении зрачок сужен, фотоофтальмия носит временный характер. При низкой освещенности, когда зрачок расширен, может наступить более длительное снижение остроты зрения, особенно, если воздействовал зеленый свет лазера. Излучение лазеров терапевтического диапазона за счет фокусировки хрусталика дает оптическое усиление  $\times 105$  (рисунок 1).

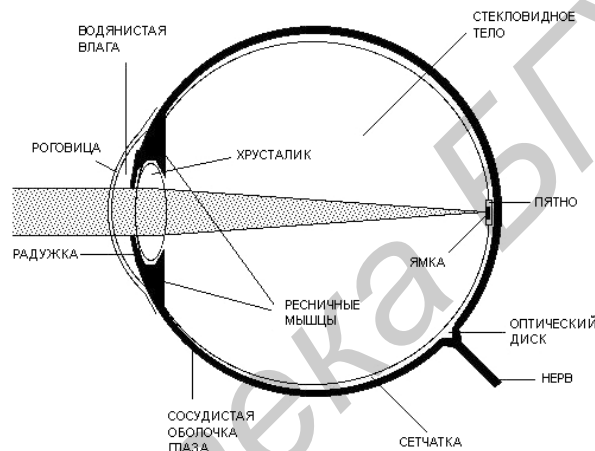


Рис. 1. Потенциальная опасность лазерного излучения незащищенного глаза за счет фокусировки хрусталиком [4]

Это означает, что при плотности мощности  $1 \text{ мВт/см}^2$  на сетчатке формируется световое пятно с плотностью мощности до  $100 \text{ мВт/см}^2$ , если луч коллимированный.

Лазеры терапевтического диапазона с мощностью до 500 мВт работают во многих лечебных учреждениях и имеют открытый луч. Расчеты показывают, что плотность мощности ЛИ таких лазеров достаточна, чтобы вызвать термическое повреждение сетчатки, а также фотохимические реакции. Например, луч в красном диапазоне спектра мощностью 60 мВт, сфокусированный на сетчатке в виде светового пятна диаметром до 50 мкм, формирует плотность мощности  $3 \text{ Вт/см}^2$ , а термодеструкция сетчатки может наступить даже при меньшей мощности и приобрести необратимый характер.

Наряду с мощностью большое значение имеет проникающая способность в ткани ЛИ различных длин волн. Эти свойства связано с особенностями взаимодействия ЛИ и основных хромофоров биотканей человека. Они же определяют селективность лазерного воздействия.

Основными хромофорами биотканей человека являются вода, гемоглобин (оксигемоглобин), пигменты. Все три хромофора в тканях глаза присутствуют: вода содержится в жидких средах глаза, роговице и хрусталике, гемоглобин и пигменты – в сетчатке.

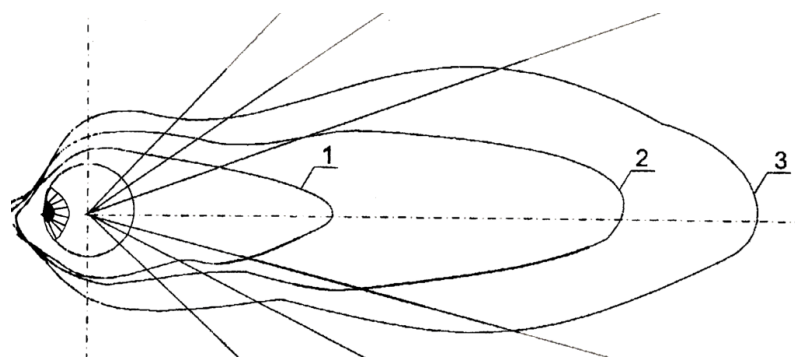


Рис. 2. Оптические характеристики энуклеированного глаза при воздействии лазерного излучения с длиной волны 630 нм (1), 1150 нм (2), 890 нм (3) [2]

Из рисунка 2 следует, что наибольшей проникающей способностью обладает излучение с длиной волны 890 нм («окно биологической прозрачности» ткани). Излучение с длиной волны 1150 нм является водоспецифичным и частично поглощается жидкими средами глаза. В зеленом диапазоне спектра опасность повреждения сетчатки существенно увеличивается (в связи с селективным поглощением пигментом сетчатки) при значительно меньшей мощности, чем в красном диапазоне.

Особенно опасен импульсный режим ЛИ, в частности, Q switched импульсы.

Наиболее неблагоприятными для глаза являются длины волн от 380 до 1400 нм, так как они слабо поглощаются водосодержащими тканями глаза и фокусируются на поверхности сетчатки, создавая большую плотность мощности.

Излучение гольмиевых лазеров ( $\lambda$  2094 нм) частично поглощается жидкостью камер глаза, но риск повреждения сетчатки остается, особенно при Q – модулированном импульсном режиме.

Эрбиевый лазер ( $\lambda$  2940 нм) генерирует излучение с высоким коэффициентом поглощения водой и представляет опасность для передних камер глаза. Это же относится к CO<sub>2</sub> ( $\lambda$  10600 нм) лазеру.

Излучение лазеров первого и второго классов видимого диапазона (400-700 нм) мощностью менее 1 мВт при экспозиции 0.25 секунды (время, за которое человек успевает закрыть глаза или отвернуться) не повреждает сетчатку.

Ультрафиолетовое излучение, в зависимости от дозы и частотных характеристик, приводит к повреждению роговицы.

При прямом или отраженном излучении лазеров 3А, 3В классов или диффузном отражении излучения лазеров 4 класса повышенной мощности повреждения могут произойти, прежде чем человек рефлекторно закроет глаза.

Импульсный режим излучения негативно действует на глаз при длительности импульсов менее 1 мс. При этом возникает нарушение кровообращения в сосудах сетчатки, а также их повреждение с кровоизлиянием в стекловидное тело.

При импульсном режиме имеет место фотоакустический эффект, который также может вызвать повреждение сетчатки.

Фотохимическая реакция со стороны сетчатки может иметь место при длительном воздействии ЛИ на незащищенный глаз в фиолетовом диапазоне (400-470 нм).

Защита глаз от лазерного излучения требует ношения специальных очков со светофильтрами. Степень защиты светофильтрами определяется оптической плотностью - optical density (OD), которая показывает, во сколько раз происходит ослабление света. OD-1 означает ослабление в 10 раз, OD-3 в 1000 раз, OD-6 – в 1000000 раз. Для видимого диапазона OD должна быть такой, чтобы мощность излучения падающего на глаз, не превышала мощности излучения второго класса лазера ( $\approx$  1 мВт). Это связано с необходимостью наблюдать луч в качестве

пилотного для наведения на объект.

Для ИК-диапазона степень ослабления должна быть максимальной, так как излучение этого диапазона обладает большой проникающей способностью.

В санитарных правилах и нормах [3], указаны следующие марки светофильтров: СЗС-22 – диапазон защиты 630-680 нм; 680-1200 нм; 1200-1400 нм; ОД – соответственно 3, 6, 3 цвет стекла – голубой (рисунок 3). Для защиты от сине-зеленого спектра используются светофильтры ОС-23, цвет стекла – оранжевый. От излучения CO<sub>2</sub> и эрбиевых лазеров защищают очки с обычными стеклами.

Для лазеров, излучающих в ИК диапазоне, использующих красный пилотный луч, необходимы защитные очки, экранирующие ИК диапазон и, одновременно, оставляющие видимым красный свет, что важно при проведении оперативных вмешательств.

На светофильтрах защитных очков необходимо наличие маркировки, указывающей на диапазон длин волн, от которых защищают светофильтры.

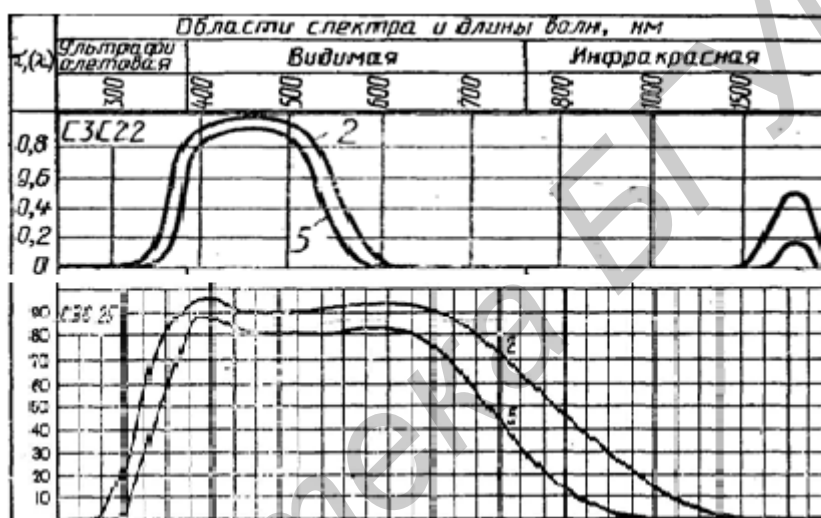


Рис. 3. Кривые пропускания длин волн лазерного излучения светофильтрами защитных очков СЗС-22 и СЗС-25

Показано, что при хроническом воздействии лазерного излучения на работающих имеет место снижение артериального давления. Поэтому работникам с низким артериальным давлением не рекомендуется обслуживать лазерные установки.

Гипотензивный эффект может быть вызван также электромагнитным полем, создаваемым мощным лазером.

Импульсный режим работы мощных лазерных систем может спровоцировать нарушение ритма сердечных сокращений у больных с ишемической болезнью сердца, осложнённой периодическими нарушениями сердечного ритма. Это же касается пациентов с установленными кардиостимуляторами. Допуск таких работников к работе на лазерных установках противопоказан.

При несоблюдении технологии работы с лазером возможны термические повреждения кожи, если мощность ЛИ превышает 1 Вт. У людей с темным цветом кожи термическое повреждение возможно и при меньшей мощности ЛИ за счет большего поглощения. Термические лазерные ожоги, как правило, возникают редко и связаны с нарушением техники безопасности (рисунок 4)

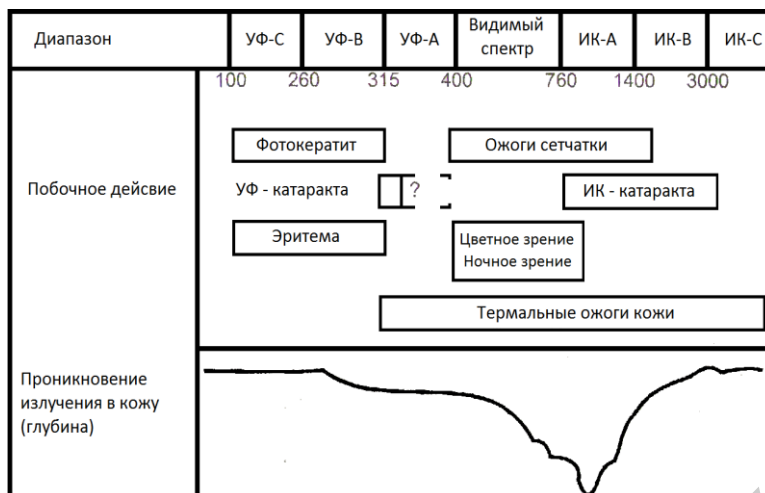


Рис.4. Фотобиологические спектральные диапазоны, разработанные Международной комиссией по люминесценции, и их воздействие на структуры глаза и кожу [1]

ЛИ в УФ диапазоне при хроническом воздействии на незащищенную кожу может вызвать её пигментацию вплоть до появления новообразований.

*Заключение.* Лазерное излучение неблагоприятно воздействует на незащищенный глаз благодаря оптическому усилению за счет фокусировки хрусталиком. В зависимости от длины волны, селективности, импульсного характера лазерного излучения фотодеструктивное воздействие на элементы глаза может быть различным. Использование защитных очков со специальными светофильтрами обеспечивает надежную защиту глаз от лазерного излучения. Степень защиты светофильтрами определяется их оптической плотностью: для видимого диапазона ослабление излучения должно соответствовать мощности 1мВт, для ИК диапазона оно должно быть максимальным(OD-3;OD-6).

#### Литература

[1]. Ляндрес И.Г. Низкоинтенсивные лазеры в клинической практике / Ляндрес И.Г.. – Минск, 1998г. – 227 с.

[2]. Евстигнеев А.Р., Полонский А.К. Применение полупроводниковых лазеров и светодиодов в биомедицине и медицинском приборостроении / Евстигнеев А.Р., Полонский А.К.. – Калуга, 1989г. – ,155с.

[3]. Санитарные правила и нормы 2.2.4.1.13-2-2005 «Лазерное излучение и гигиенические требования при эксплуатации лазерных изделий». – Минск, 2006г.

[4]. Безопасность при работе с лазерами и что будет, если её не соблюдать [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lasers.org.ru/2008/06/20/> – Дата доступа – 3.21.2016.