

Голяев Ю.Д., Сухов Е.В., Сухонос А.И., Сухонос Н.М., Сухонос С.И.

## **Экспериментальные исследования спектров при прохождении света через ткани человека**

(предварительное сообщение)

Целью данной статьи является проработка вопросов, связанных с оптимизацией параметров световых поясов, выпускаемых на АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стедьмаха» и фирмой ООО «Моналит Текнолоджи». Метод исследования — эксперименты с пропусканием света различной длины волны и от разных источников через ткани человека и измерением получаемых на спектрографе спектров.

### **Состояние вопроса о применении красного света для лечения различных заболеваний**

В медицинской практике давно и успешно используется облучение красным светом для решения различных проблем со здоровьем человека. Красный свет помогает решать проблемы в различных областях. В наиболее популярных зарубежных источниках перечисляются следующие болезни и болевые синдромы, которые могут быть вылечены с помощью красного света :

- остеоартрит;
  - спортивные травмы, такие как колено, лодыжка, плечо и т. д.;
  - ожоги, царапины и порезы (кожа может быть уже оптимизирована для скорости заживления, но сильные лампы могут немедленно устранить умеренную боль);
  - язвы на коже (не в желудке);
  - дегенерация желтого пятна в глазу;
  - лазерный ожог сетчатки;
  - боли при фибромиалгии;
  - предотвращает синяки и воспаления, если это свежая травма;
  - тендинит;
  - боли в спине;
  - боль в груди;
  - рост волос (наблюдается увеличение на 35 % через 4 месяца);
  - диабетическая невропатия;
  - синдром беспокойной ноги;
  - миофасциальная боль, переломы (возможно);
  - воспалительные процессы;
  - минимизирует недавнее повреждение нерва;
  - бурсит;
  - деменция, митохондриальная болезнь, болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона;
  - защемлённые нервы;
  - морщины, старение, прыщи, пятна на коже;
  - сетчатка;
-

- существующие синяки;
- розацеа, псориаз, экзема, дерматит.

К этому списку можно добавить и возможность улучшения зрения с помощью красного света, которую обнаружили офтальмологи из Лондона:

«Если смотреть на красный свет по три минуты в день, можно значительно улучшить зрение, выяснили офтальмологи из Университетского колледжа Лондона. Красный свет с определенной длиной волны позволяет «перезагрузить» митохондрии в сетчатке, что дает палочкам и колбочкам возможность лучше выполнять свою функцию.

С возрастом зрение значительно ухудшается, особенно когда вам за 40, — говорит профессор Глен Джеффри, ведущий автор исследования. — Чувствительность сетчатки и цветное зрение постепенно ухудшаются, а со старением населения это становится все более важным вопросом». Ранее ученые выяснили, что у плодовых мушек, шмелей и даже мышей можно значительно улучшить функции фоторецепторов сетчатки, если воздействовать на нее длинноволновым (670 нм) красным светом.

«У митохондрии специфические характеристики поглощения света, влияющие на их работу: более длинные волны в диапазоне от 650 до 1000 нм поглощаются и улучшают работу митохондрий, позволяя им вырабатывать больше энергии», — говорит Джеффри.

Фоторецепторы представлены палочками, которые чувствительны к свету, и колбочками, которые распознают цвет.

Участниками исследования стали 12 мужчин и 12 женщин в возрасте 28–72 лет без глазных болезней. Сначала ученые проверили чувствительность палочек и колбочек всех участников. Чувствительность палочек проверялась в темноте, где испытуемые должны были найти тусклые источники света. Для проверки колбочек использовались размытые цветные буквы на неконтрастном фоне. Затем испытуемые получили специальные светодиодные фонарики. На протяжении двух недель они должны были смотреть на свет в течение трех минут каждый день. По окончании эксперимента исследователи снова протестировали чувствительность их палочек и колбочек.

На молодых участников красный свет не повлиял. Однако у тех, кому было от 40 лет и более, наблюдались заметные улучшения. Некоторые из участников улучшили способность распознавать цвета на 20 %.

Об открытии ученые рассказали в статье в «Journal of Gerontology: Biological Sciences»<sup>2</sup>.

Начало использования красного света для лечения различных заболеваний было положено еще в конце XIX века Нильсом Финзеном, который в 1903 г. получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине «в знак признания его заслуг в деле лечения болезней — особенно волчанки — с помощью концентрированного светового излучения, что открыло перед медицинской наукой новые широкие горизонты»<sup>[6]</sup>. «Этот метод явился гигантским шагом вперед, — сказал в приветственной речи К. Мернер из Каролинского института, — и <...> привел к таким достижениям в области медицины, которые никогда не забудутся в истории этой науки».

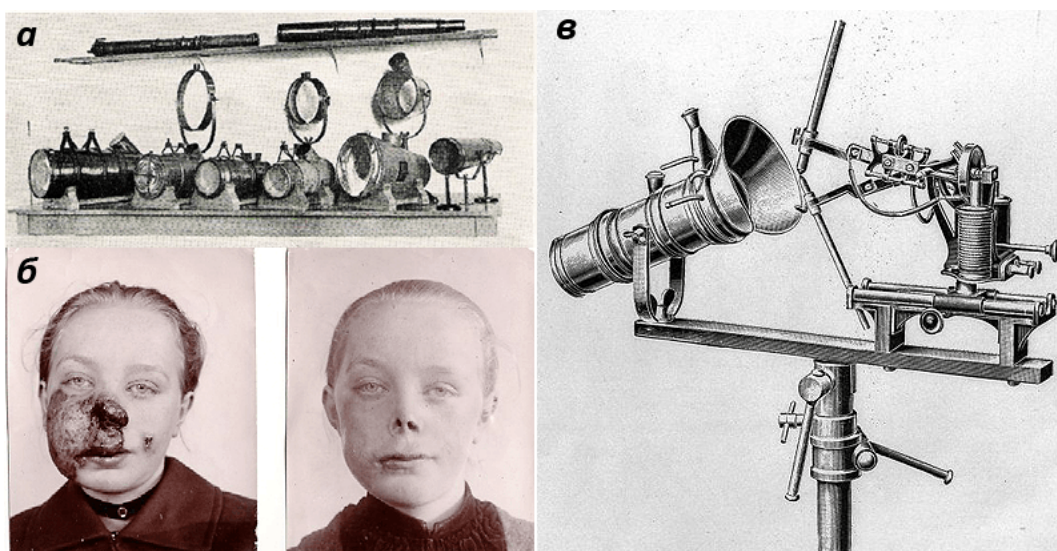


Рис. 1. Приборы светотерапии и результаты светолечения  
 а) старейшая коллекция приборов светотерапии  
 б) пациентка с диагнозом туберкулёзная волчанка (до и после лечения светом)  
 в) световой аппарат Финзена

В настоящее время в России выпускают различные варианты облучателей красным светом: на основе светодиодных источников — «Дюна-Т» (Томск), НПФ «Невотон» (Санкт-Петербург), научно-исследовательский институт «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха (Москва) и приборов лазерного облучения крови, таких как «ЛАЗМИК-ВЛОК» мод. КЛ-ВЛОК-635-2 («Лазермедсервис», Москва), аппарат лазерной терапии «Мустанг 2000» (ООО Научно-производственный лазерный центр "ТЕХНИКА"). За рубежом различные источники красного света выпускает также множество фирм, среди которых можно выделить, пожалуй, «Bioptron» (Швейцария), в котором применяются цветные фильтры.

### Роль красного света в функционировании биосферы

Все живое на планете использует энергию излучения Солнца, пропускаемую атмосферой большого диапазона длин волн (рис. 2).



Рис. 2. Длины волн излучения Солнца в нанометрах

Растения, которые составляют более 99 % биомассы планеты, поглощают из этого широкого спектра преимущественно свет с двумя частотами — 445 и 660 нм (рис. 3).

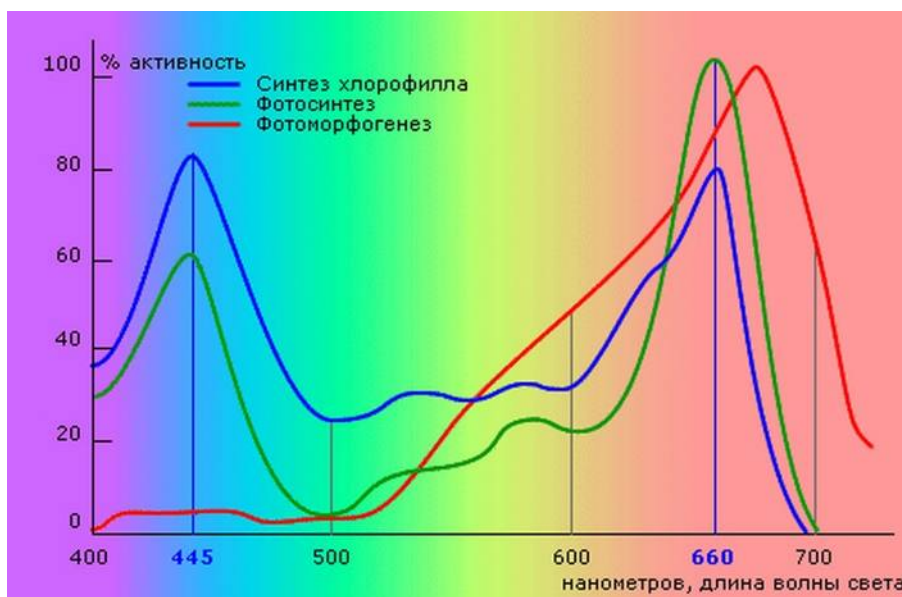


Рис. 3. Спектры поглощения света Солнца растениями

При этом разные длины волн используются растениями для различных целей (рис. 4).



Рис.4. Воздействие различных волн видимого цветового спектра на рост растений

Считается, что человеческий организм взял от природы в ходе развития все свойства поглощать свет в разных частотах, которые природа накопила в ходе эволюции для одноклеточных и растений<sup>3</sup>:

«Насос ССО очень похож у всех животных, потому что ключевые белки были унаследованы от легких бактерий, которые были частью первых митохондрий. Спектр поглощения крови внезапно падает, чтобы позволить пройти эти длины волн, что указывает на то, что эволюция гемоглобина может зависеть от клеток, получающих пользу от этих длин

волн. Непосредственное увеличение дыхания, которое Солнце вызывает этим механизмом, может помочь животным увеличить физическую и умственную активность в течение дня, в дополнение к теплу, выделяемому Солнцем, который способствует высвобождению кислорода (миоглобин также поглощает эти длины волн) и основному теплу. Эти длины волн Солнца могут обеспечить оптимальный 4 Дж/см<sup>2</sup> на глубине 1 дюйм (с использованием 1% передачи) через 1–3 часа воздействия в ярком Солнце, достигая всей кожи и большого процента мышечной ткани <...> у людей с минимальной одеждой».

### **Нерешенные вопросы использования красного света**

Вопросу о влиянии солнечной энергии на кровь и на ее составные части посвящена весьма обширная литература. Но, несмотря на множество работ гематологов разных стран, ряд вопросов еще окончательно не разрешен<sup>4</sup>.

Поэтому, несмотря на более чем столетнюю историю изучения влияния красного света, до сих пор не выяснены до конца следующие вопросы:

- Какой диапазон длин волн наиболее полезен для лечения?
- Какой источник света предпочтительнее: фильтр, светодиод или лазерное излучение?
- Какой метод облучения наиболее эффективен — дистанционный, контактный или облучение непосредственно крови через вену?
- Какое влияние оказывает мощность излучения и какова оптимальная мощность?
- Какую длительность облучения считать минимальной и максимальной?
- На какую глубину проникает красный свет в тело человека и от чего зависит эта глубина?
- Каков механизм проникновения красного света в тело человека — через ткани, воду или через кровь?
- В чем биохимический механизм положительного воздействия красного света на здоровье?

Некоторые из этих вопросов проработаны, судя по доступной авторам литературе, достаточно хорошо, другие менее хорошо, но независимо от этого не существует четкой общепринятой для всех производителей методологии, из которой можно было бы извлечь рекомендации по использованию необходимых параметров облучения красным светом. Не обнаружены и четкие методологические указания по использованию красного света. Все это затрудняет производителям производство приборов с оптимальными параметрами для облучения.

Рассмотрим более подробно каждый из перечисленных вопросов.

### **Оптимальная частота красного света для облучения тела**

Диапазон красного цвета в спектре часто определяют длинами волн 630—760 нанометров, что соответствует частотам 476—394 терагерц. В силу этого обстоятельства в разных источниках приводятся разные наиболее полезные длины волн. И, соответственно, в промышленности выпускаются с разной длиной волны светодиоды, лампы и лазеры. Например, аппарат Дюна-Т имеет две длины волны: 633 и 840 нм, красная лампа НЕВОТОН от 640 до 680 нм и т.п. В диссертационной работе Н.Ю. Шураевой использовались светодиоды с длиной волны 630 нм. Более того, в паспорте китайских светодиодных матриц (рис. 5) вообще не указана длина волны, а проверка с помощью

4 Источник MedUniver: <https://meduniver.com/Medical/profilaktika/1340.html>

спектрометра показала длину волны с пиком на 624 нм (рис. 6), что отличается от наиболее широко рекомендуемой длины волны в 650 нм. Именно на такого типа светодиодах (653 нм) российского производства выпускаются световые аппараты «Полюса» (рис. 7). Эти аппараты дают более точное соответствие оптимальной длине волны и имеют более узкий спектр излучения (рис. 8). Более того, те же китайские матрицы выпускаются с пластиковыми колпачками на светодиодной пластине (рис. 8), которые служат в качестве рассеивателей, но пластик снижает мощность излучения на длине волны 624 нм и добавляет в спектр свой цвет, который определяется химическим составом пластмассы (рис. 9).



Рис. 5. Светодиодные матрицы китайского производства

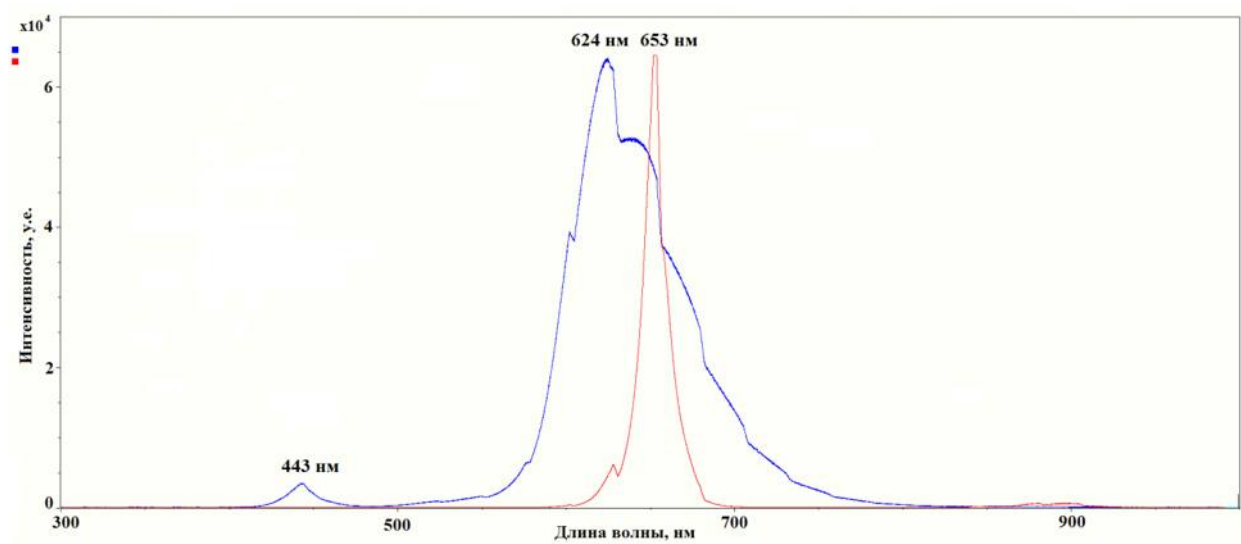


Рис. 6. Спектр пояса с китайскими светодиодными матрицами (синяя кривая) и российскими светодиодами (красная кривая). Оба спектра экспозиции — 0,01 сек.

На АО «Полюс» выпускаются габаритные приборы Тера Фот (рис. 7).



### 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

3.1 Основные технические данные аппарата приведены в табл. 1

Таблица 1

Наименование параметра, единица измерения	Норма для типа	Данные измерений для типа
Плотность мощности излучения на оси аппарата, мВт/см <sup>2</sup> , не менее	0,5	1,5
Длина волны излучения, нм	660±30	Соотв.
Потребляемая мощность, Вт, не более	150	Соотв.
Режим работы	непрерывный	Соотв.
Время непрерывной работы, не менее, ч.	8	Соотв.

3.2 Электропитание аппарата осуществляется от сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 220 В.

### 4. КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ

4.1 Комплект поставки приведен в табл. 2

Таблица 2

Наименование	Обозначение	Количество, шт.
Аппарат терапевтический АТС-01/660 «Тера Фот» (гибкое исполнение)	941544.007	1
Паспорт	941544.007 ПС	1
Упаковка		1

Рис. 7. Аппарат для фотолечения производства АО «Полюс» (вверху) и его технические характеристики (внизу)



Рис. 8. Пояс производства «Монолит Текнолоджи» со светодиодами с рассеивателями (Китай)

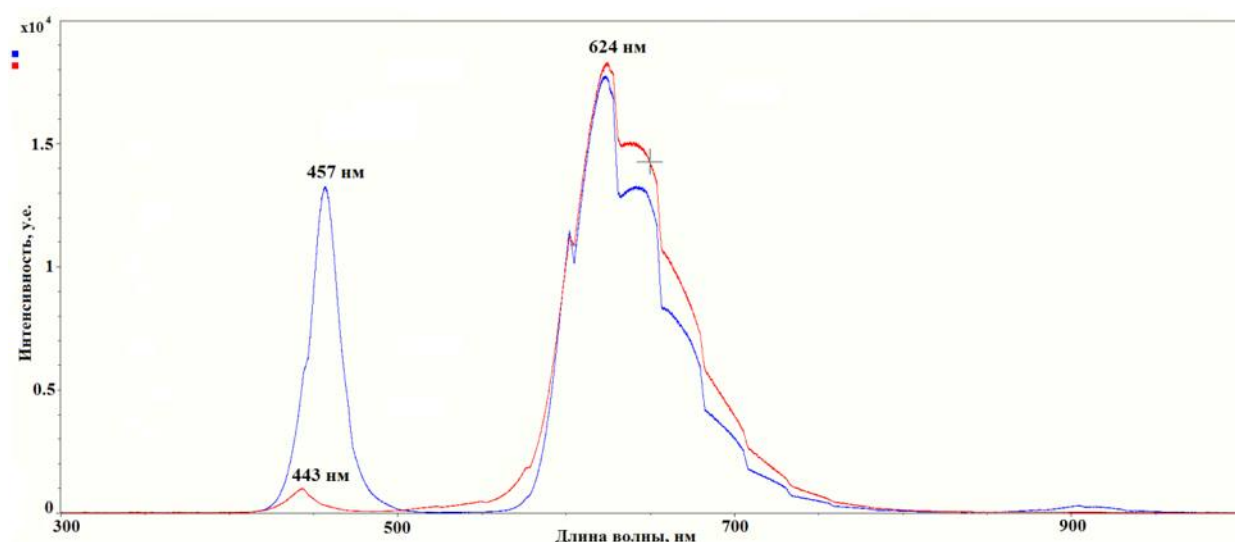


Рис. 9. Спектры поясов с китайскими светодиодными матрицами. Синий график — с пластиковыми колпачками, красный график — без колпачков (оба спектра экспозиция — 0,01 сек)

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что вопрос об оптимальной длине волны для фотолечения либо не изучен до конца в медицине, либо некоторые производители его не знают, поэтому выпускают лампы и пояса с различными спектральными характеристиками.

### **Какой источник красного света предпочтительнее — лазеры, светодиоды или обычные цветные фильтры?**

Практика светолечения начиналась еще в XIX веке с использования обычных красных фильтров (Финзен), затем после изобретения лазеров и вхождения их в широкую практику, началась волна увлечения именно лазерными источниками красного света. Но со временем выяснилось, что вместо лазеров могут быть использованы и светодиоды:



«В прошлом лазеры считались необходимыми для обеспечения света, но с 1989 года известно, что светодиоды также хороши. Идеальные длины волн от 600 до 860 нм, с лучшими результатами в конкретных диапазонах: 610–625, 660–690, 750–770 и 815–860 нм»<sup>5</sup>.

В диссертационной работе Н.Ю. Шураевой отмечается, что по ряду критериев все-таки предпочтительнее светодиоды, т.к. особенность когерентного лазерного света практически исчезает сразу же после проникновения его в ткани:

«Все обнаруженные эффекты светодиодного и лазерного излучений свидетельствуют о том, что такие специфические свойства когерентного лазерного излучения, как когерентность, поляризуемость и высокая степень монохроматичности для формирования клеточных ответов, не обязательны. Помимо этого, светодиодные медицинские приборы обладают рядом преимуществ и значительно дешевле лазерных аналогов, что может быть поводом для более широкого применения их в клинической практике» (Автореферат).

При этом по-прежнему выпускается масса приборов с красным лазером, в частности, для лечения простудных заболеваний и для свечения на текущую по венам кровь.

В очень раскрученных на рынке светильниках Bioproton Medall стоимостью от 98 тысяч до 1,5 миллиона используются цветные стекла-фильтры.

Можно предположить, что источник света не играет существенной роли на характер биологического воздействия, хотя этот вопрос по-прежнему требует более тщательного изучения.

В настоящее время наиболее распространенными являются светодиодные источники, в которых часто комбинируют как разную длину волны красного света, так и добавляют инфракрасные источники.

Отметим, что вопрос об источнике света имеет под собой очень важный аспект, который связан с тем, что разные источники дают разную ширину спектра основной моды и, возможно, разные характеристики света имеют различную проникающую способность в ткани.

### **Каков метод облучения наиболее эффективен — дистанционный, контактный или облучение непосредственно крови через вену?**

Большинство выпускаемых источников красного света рассчитаны на дистанционное облучение поверхности тела. Но известно, что мощность излучения обратна квадрату расстояния, а, следовательно, при увеличении расстояния с 5 см до 10 см мощность светодиодных источников падает в 4 раза, а при 20 см — в 16 раз. Притом, что мощность большинства источников красного света лежит в диапазоне от 1 до 12 Вт, эффективная мощность облучения снижается при бесконтактном облучении на порядки и может оказаться малоэффективной. Как это сказывается на эффективности лечения неясно, и авторам не удалось найти исследования о влиянии мощности излучения на глубину проникновения света в ткани и о связи мощности излучения с эффективностью воздействия красного света.

---

### Какую длительность облучения считать оптимальной

В разных источниках и разных инструкциях дается различная рекомендуемая длительность облучения — от 3 до 10 минут за один сеанс. Чем определены эти пределы? Исследований, насколько известно авторам, в этом направлении не проводилось. Аналогично открытым остается вопрос о кратности лечения красным светом — один раз в день или больше? Сколько сеансов минимум необходимо провести при том или ином заболевании? Эти вопросы не имеют обоснованного экспериментами ответа. Поэтому из осторожности большинство производителей указывает длительность в 3 минуты как минимальную, а 10 минут как предельную и 1–2 раза в день. Но при этом можно найти и такое мнение:

«Наши предки подвергались воздействию солнечного света интенсивностью от 0 до 0,03 Вт/см<sup>2</sup> в диапазоне от красного до ближнего инфракрасного диапазона до 6 часов в день, что давало среднюю суточную дозу в сотнях Дж/см<sup>2</sup> для очень больших площадей кожи.

...Я обнаружил 100 Дж/см<sup>2</sup> для уменьшения болей, которые составляют около 1/2 дюйма в глубину от уровня боли 8 до 2. Я не наблюдал никакого вреда от 30 минут интенсивностью 150 мВт/см<sup>2</sup> (270 Дж/см<sup>2</sup>) при 850 нм»<sup>6</sup>.

Таким образом, исследование вопроса о длительности облучения явно недостаточно и производители, боясь себя от возможных неблагоприятных последствий, пишут в инструкциях ограничения по времени в 3–10 минут.

Более того, необходимо отметить, что время облучения связано с интенсивностью свечения, и важно не только учитывать время, но и максимально допустимую разовую дозу облучения.

### На какую глубину проникает красный свет в тело человека в разных местах

В разных источниках дается разная глубина проникновения красного света в ткани человека. Так, в обзорной работе<sup>7</sup> глубина ограничивается 2,5 см:

«Красный и ближний инфракрасный свет — это «окно» длин волн, которое может проходить сквозь ткань глубиной до 1 дюйма (не 6 дюймов, как утверждают некоторые веб-сайты)»<sup>8</sup>.

Однако глубина проникновения в ткани существенно зависит от многих факторов: длины волны (*рис. 10*), интенсивности облучения (*рис. 11*) и ширины пятна облучения (*рис. 12*).

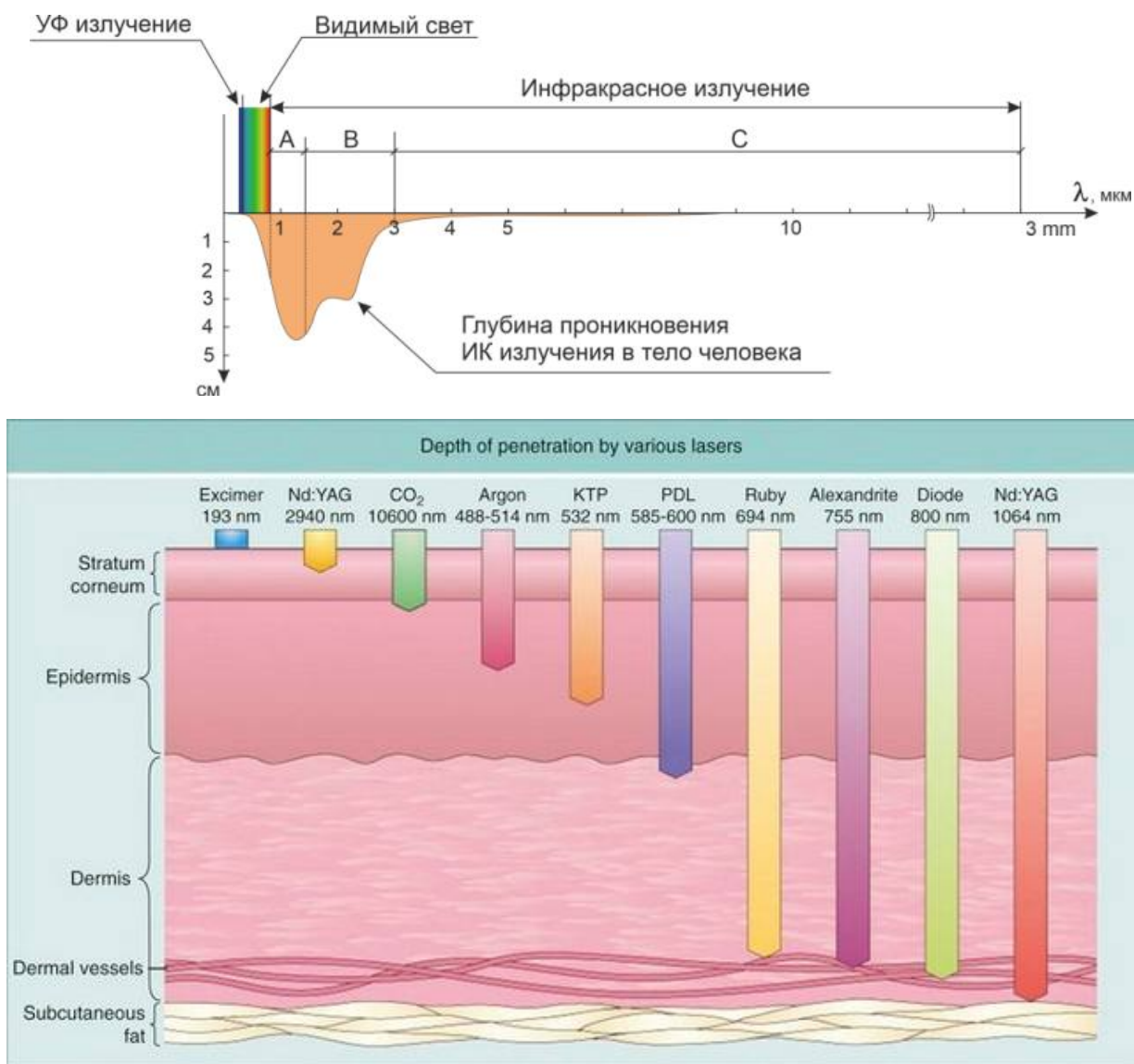


Рис.10. Структура кожи и глубина проникновения светового излучения различных длин волн.

При взаимодействии с поверхностью тела человека часть оптического излучения отражается, другая рассеивается, третья поглощается, а четвертая проходит сквозь различные слои биологических тканей. Чаще всего объектом взаимодействия оптического излучения организмом является кожа. Коэффициент отражения излучения слабо пигментированной кожей достигает 43–55 % и зависит от многих причин. Так, например, у мужчин он на 5–7 % ниже, чем у женщин. Пигментированная кожа отражает свет на 6–8 % слабее. Скользящее падение света на поверхность кожи увеличивает коэффициент отражения до 90 %. Характер взаимодействия оптического излучения с биологическими тканями определяется его проникающей способностью. Различные слои биоткани неодинаково поглощают оптическое излучение разной длины волны. Глубина проникновения света нарастает при переходе от ультрафиолетового излучения до ближнего ИК диапазона с 1 мкм до 2,5 мм, а в среднем и дальнем диапазонах резко снижается до 0,3–0,5 мм. Оксигенированный гемоглобин интенсивно поглощает световое излучение, начиная с УФ области и до длины волны 600 нм с максимумом в 585 нм».<sup>9</sup>

9 Муравлев В.К. Роль оптики при изучении параметров крови / В. К. Муравлев, Г. О. Мукатай. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2017. № 25 (159). С. 187-190. URL: <https://moluch.ru/archive/159/44826/> (дата обращения: 15.06.2021).



Рис. 11. Глубина проникновения в ткани лазерного излучения в зависимости от мощности лазера

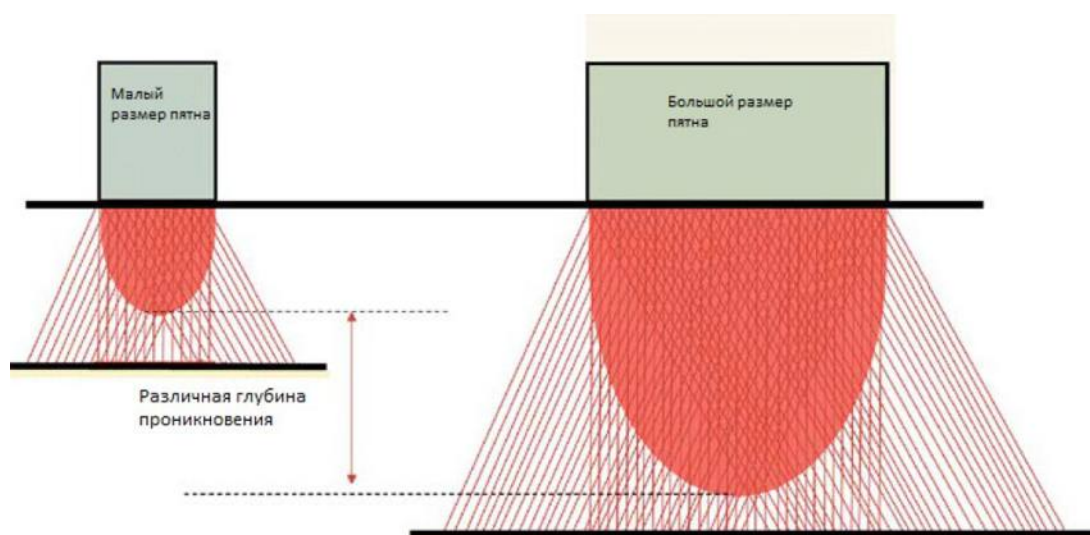


Рис. 12. Связь глубины проникновения красного света в ткани в зависимости от площади облучения.

«Влияние размера пятна на глубину проникновения лазерного излучения. В ходе проникновения излучения в кожу оно рассеивается, поэтому при увеличении размера пятна глубина, на которой будет достигнуто эффективное значение флюенса, будет увеличиваться.<sup>10</sup>

### **Каков механизм проникновения красного света в тело человека — через ткани, воду или через кровь**

В литературе можно встретить утверждение, что главной средой для распространения красного света является рассеивание через воду и ткани:

10 <https://semilukskaya-crb.ru/uhod-za-volosami/4-vida-apparatov-dlya-lazernoj-epilyatsii-ih-tehnicheskie-harakteristi-i-sravnenie-diodnyj-aleksandritovyj-rubinovyj-i-neodimovyj.html>

«Окно ближней инфракрасной области (NIR) (также известное как оптическое окно или терапевтическое окно) определяет диапазон длин волн от 650 до 1350 нм, где свет имеет максимальную глубину проникновения в ткань. Внутри окна NIR рассеяние является наиболее доминирующим взаимодействием легкой ткани, и поэтому распространяющийся свет быстро рассеивается. Поскольку рассеяние увеличивает расстояние, пройденное фотонами внутри ткани, вероятность поглощения фотона также возрастает. Поскольку рассеяние имеет слабую зависимость от длины волны, окно NIR в основном ограничено поглощением света кровью на коротких длинах волн и водой на длинных длинах волн. Техника, использующая это окно, называется NIRS. Медицинские методы визуализации, такие как операции с флуоресцентным изображением, часто используют окно NIR для обнаружения глубоких структур»<sup>11</sup>.

Наблюдение за тканями на просвет показало, что вены и артерии свет не пропускают:

«Вены и артерии на верхней стороне тела являются единственными, которые можно увидеть после того, как свет прошел. Это показывает, что кровь очень эффективно блокирует свет. Это НЕ показывает, что свет может проникать через 1 дюйм в руке. Он показывает, насколько сложно для устройства в 10 раз более мощным, чем те, которые обычно продаются, могут едва отображаться через руку, в темноте, с ночным видением камера»<sup>12</sup>.

Из этого обзора автор делает необоснованный вывод о том, что «кровь очень эффективно блокирует свет». В действительности проведенные нами эксперименты показывают прямо обратное — именно кровь является главным (если не единственным) проводником красного света в организме (см. дальше).

### Каков механизм положительного воздействия красного света

Приведем три разных мнения о механизме воздействия красного света на организм.

«Красная световая терапия (RLT — Red Light Therapy) использует энергию фотонов красного света — это целебная стратегия, которая использует красный тонированный свет, чтобы стимулировать естественные системы защиты организма и приносить облегчение от различных заболеваний. Основа этого типа лечения связана с тем, что красный свет помогает активировать синтез АТФ (аденозинтрифосфорную кислоту, или аденозинтрифосфату) в мышечных тканях, высвобождая больше энергии для использования организмом...

Кроме того, известно, что в процессе заживления ран активное участие принимают клетки лейкоцитарного звена»<sup>13</sup> [Whelan Н. Т., 2003].

«Г.И. Клебановым и соавторами убедительно показано, что НИЛИ (низкоинтенсивное лазерное излучение) оказывает стимулирующее действие на фагоциты, приводя к коренной перестройке клеточного метаболизма»<sup>14</sup>.

«Считается, что красный свет работает, производя биохимический эффект в клетках, который укрепляет митохондрии. Митохондрии являются источником энергии клетки — именно там создается энергия клетки. Молекула, несущая энергию, найденная в клетках всех живых существ, называется АТФ (аденозинтрифосфат).

Увеличивая функцию митохондрий с помощью RLT, клетка может производить больше АТФ. Благодаря большому количеству энергии клетки могут функционировать более эффективно... Длины волн от 600 до 900 нм проходят через кровь и воду в ткани более легко, чем другие длины волн. Около 35% энергии в этом диапазоне поглощается специфическим «протонным насосом» (цитохромоксидазы, ССО, «комплекс IV») в митохондриях. Свет на 4 конкретных длинах волн «запускает» насос ССО в производство

больше сотовой энергии, АТФ. Насос ССО очень похож на всех животных, потому что ключевые белки были унаследованы от легких бактерий, которые были частью первых митохондрий. Спектр поглощения крови внезапно падает, чтобы позволить пройти эти длины волн, что указывает на то, что эволюция гемоглобина может зависеть от клеток, получающих пользу от этих длин волн. Непосредственное увеличение дыхания, которое Солнце вызывает этим механизмом, может помочь животным увеличить физическую и умственную активность в течение дня, в дополнение к теплу, выделяемому Солнцем, который способствует высвобождению кислорода (миоглобин также поглощает эти длины волн) и основному теплу. Эти длины волн Солнца могут обеспечить оптимальный 4 Дж/см<sup>2</sup> на глубине 1 дюйм (с использованием 1 % передачи) через 1—3 часа воздействия в ярком Солнце, достигая всей кожи и большого процента мышечной ткани в историческом — у людей с минимальной одеждой.

Поддержка теории эволюции: есть 5 указаний на то, что преимущество красного и ближнего инфракрасного света — это не случайность, а очень «умный» и естественный результат эволюции. Показаниями являются: 1) протонный насос является последним в серии из трех насосов, который помещает его в возможно лучшее место, чтобы вытащить процесс конверсии пищи путем «толкания» конечных электронов через цепь. Это создает химическую «тягу» (которая является реальным электростатическим «тянуть») на электронах, еще дальше в цепь, что может предотвратить утечку реактивного кислорода, если не слишком много света; 2) насос поглощает преимущественно красный и ближний инфракрасный свет, а оставшиеся солнечные лучи блокируются водой и кровью; 3) насос является основным поглотителем этих длин волн в теле, примерно на 35 %; 4) оксигенный гемоглобин имеет очень резкое снижение его способности поглощать красный и ближний инфракрасный спектр, что указывает на то, что гемоглобин развивается специально, чтобы позволить этим длинам волн пройти. Насос ССО имеет более длинную эволюционную историю, чем гемоглобин, потому что он был унаследован от бактерий, которые формировали симбиотические отношения в митохондриях. (Впервые я написал это здесь в 2006 году, чтобы эволюционно «объяснить», почему кровь красная). Детекторы этих бактерий все еще существуют как фиолетовые бактерии, которые используются в исследованиях на насосе ССО; 5) Тина Кару продемонстрировала ночные уровни мелатонина, но не дневные уровни, чтобы полностью ингибировать положительные эффекты инфракрасного света. Это указывает на то, что мелатонин и его широкие колебания в течение 24 часов могли эволюционировать, чтобы не препятствовать преимуществам солнечного света. Хотя крупные животные могут иметь только 10% своих клеток, эффективно подвергающихся воздействию света, поступающего в их тела, а мелкие животные, которые существовали, когда вначале развилась кровь, подвергались воздействию 100% их клеток, поэтому у нее должно было быть сильное эволюционное давление, чтобы получить «правильную» кровь...

В «пробирке» антиоксиданты отрицают действие света, а свет отрицает эффекты окислителей. В некотором смысле это может быть подобно тому, как свет является антиоксидантом. Другие рассуждения указывают на то, что это помогает, будучи легким прооксидантом, так же, как упражнение помогает: реакция организма делает его «сильнее» различными способами.

Я сосредоточен на ССО, но в документе 2011 года обсуждается возможная важная роль других соединений (хотя я полностью не согласен с тем, что в этой статье не было снято волновое смещение сочетания длин волн):

Помимо гемоглобина наиболее распространенными фотоакцепторами в красном или ближнем инфракрасном диапазоне являются также гемисодержащие металлопротеины: миоглобин и цитохромоксидаза. Тем не менее было показано, что другие молекулы, такие как супероксиддисмутаза, цитохром с, цитохром b, синтаза оксида азота, каталаза, гуанилатциклаза и криптохромы, обладают способностью к фотоакцептору»<sup>15</sup>.

Мы видим разные версии воздействия красного света: молекулярный (АТФ), клеточный — фагоциты и лейкоциты в целом и митохондриальный — стимуляция работы митохондрий, в которых производятся АТФ молекулы. Очевидно, что если красный свет благотворно воздействует на лейкоциты или только на их часть — фагоциты, то важно облучать красным светом именно кровь, но если красный свет активирует АТФ напрямую или митохондрии, которые есть почти во всех клетках, а не только в крови, то важно облучать все ткани.

В пользу последней версии свидетельствует широкая и положительная практика облучения красным светом растений в теплицах и тот факт, что растения поглощают именно красный свет вполне конкретной длины волны — 650 нм (см. выше). Естественно, поскольку в растениях нет крови, то объяснить положительный эффект от облучения красным светом только активацией лейкоцитов представляется слишком узким. Возможно, не клетки вообще активируются красным светом, а воздействие идёт на более глубоком структурном уровне — молекулярном, на уровне АТФ, который есть в любых биологических клеточных структурах. И такое предположение выглядит наиболее физичным, ведь свет может воздействовать в конечном счете только на атомы, которые поглощают фотоны или на молекулы, в которых изменяются межатомные связи.

Этого принципа придерживается большинство исследователей. Однако кто-то пишет о мышечных тканях, кто-то о клетках крови, а кто-то исключительно о поврежденных клетках<sup>16</sup>.

Если говорить именно о крови, то в ней есть эритроциты и лейкоциты, причем количество эритроцитов гораздо больше. Но у эритроцитов нет митохондрий, следовательно, они не выработают АТФ-молекулы<sup>17</sup>:

«В эритроцитах отсутствуют митохондрии, система цитохром и соответственно отсутствует цикл трикарбоновых кислот. Эритроцит не воспроизводит De novo нуклеиновые кислоты и липиды. Основным источником энергии для эритроцитов является глюкоза, метаболизирующаяся по двум основным путям: путь Эмбдена-Мейергофа и гексозомонофосфатный путь».

Но зато митохондрии есть в макрофагах (рис. 13).

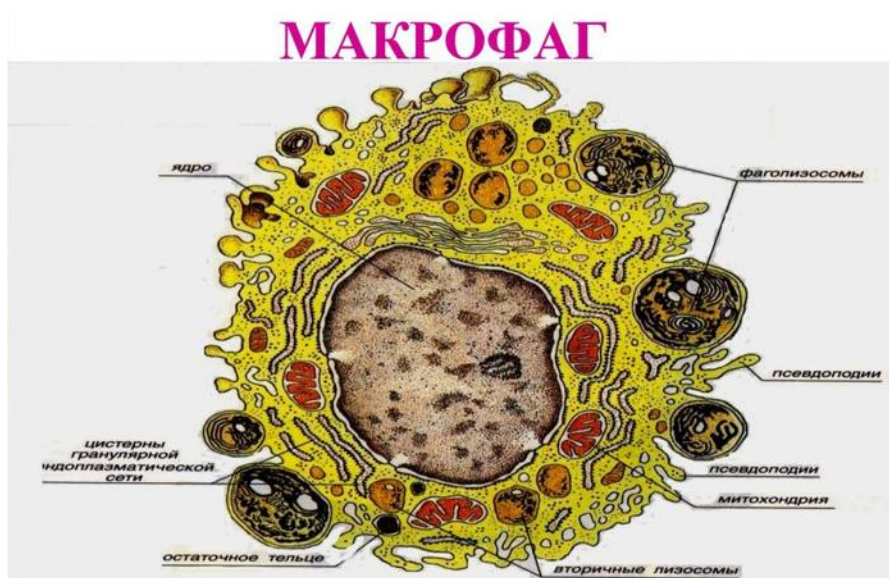


Рис. 13. Внутреннее строение макрофага, в котором есть митохондрии

Отсюда возникает гипотеза, что эритроциты выполняют функцию преобразователей света в красный диапазон и функцию рассеивания этого света. Сами они энергию от красного света не получают, а передают его в первую очередь лейкоцитам, как бы облучая их. В лейкоцитах ускоряется выработка АТФ-молекул и активность защиты организма от патогенов и удаление продуктов разрушения тканей возрастает.

Следовательно, красный свет может стимулировать скорость синтеза АТФ как в лейкоцитах, так и в других тканях, что дает дополнительную энергию специфическим клеткам для улучшения их функционала.

### Гипотеза о решающем влиянии на распространение красного света эритроцитов

Сам факт того, что кровь имеет обычно яркий алый цвет показывает, что она отражает (рассеивает) как раз красную часть спектра, не поглощая ее. Что находит свое подтверждение в исследованиях спектра поглощения кровью различных длин волн света (рис. 14).

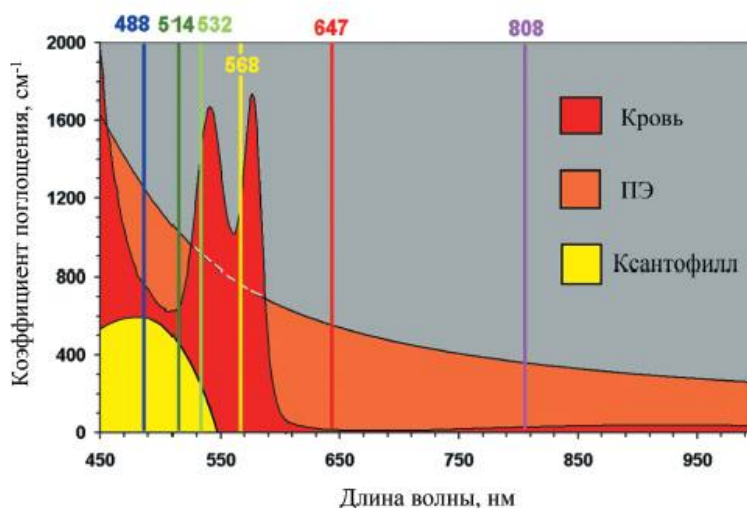


Рис. 14. Спектральные коэффициенты поглощения крови

Кровь состоит из плазмы (желтого цвета), эритроцитов (красного цвета) и лейкоцитов (белого цвета) (рис. 15).

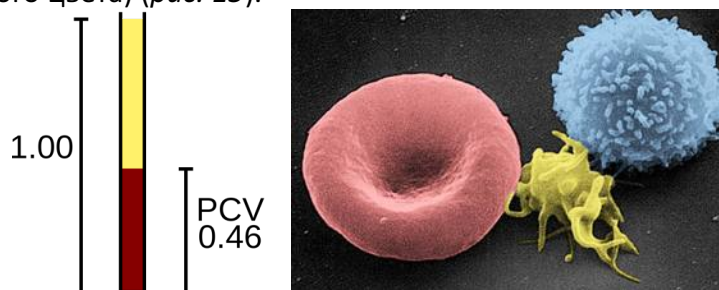


Рис. 15. Кровь состоит из двух основных компонентов: плазмы и взвешенных в ней форменных элементов (слева). Отстоявшаяся кровь состоит из трёх слоёв: верхний слой образован желтоватой плазмой крови, средний, сравнительно тонкий серый слой составляют лейкоциты, нижний красный слой образуют эритроциты. У взрослого здорового человека объём плазмы достигает 50–60 % цельной крови, а форменных элементов крови составляют около 40–50% (справа). Слева направо: эритроцит, тромбоцит и лейкоцит (сканирующая электронная микроскопия)



Очевидно, что красный цвет крови придают именно эритроциты, которые выполняют функцию переносчиков кислорода из легких к тканям и возвратного переноса  $\text{CO}_2$ . Но авторам не удалось найти данные об исследованиях спектра цвета именно эритроцитов, в литературе есть только спектры поглощения кровью различных длин волн (см. рис. 14).

### Экспериментальные исследования<sup>18</sup> прохождения красного света через ткани

Все эксперименты проводились в АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стедьмаха» с помощью спектрографа «Andor Shamrock 750» (рис. 15) с дифракционной решеткой 1200 шт/мм (цифровая камера Andor Newton CCD и программное обеспечение Andor Solis).



Рис. 16. Спектрограф «Andor Shamrock 750»

В качестве источников света использовались китайские светодиодные матрицы (рис. 17) и лазерные источники с разной длиной волны (рис. 18).



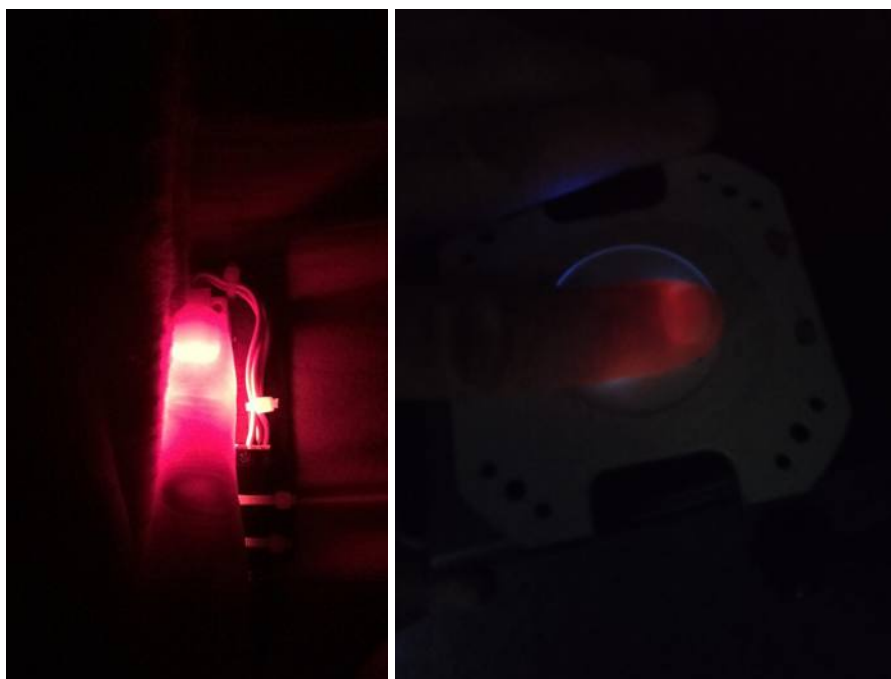
Рис. 17. Опытный образец пояса производства «Моналит Текнолоджи» на измерительном столе спектрографа

18 Известно высказывание физика Резерфорда: «...если ты не знаешь, как поставить эксперимент с помощью палки и веревки, то не до конца продумал эксперимент»



*Рис. 18. Фото свечения «синего» лазера*

Чтобы выяснить, каков спектр отраженного кровью света и как на него влияют различные факторы, было проведено несколько замеров прохождения света от разных источников через палец оператора Е. Сухова (*рис. 19*).



*Рис. 19. Свечение через палец оператора от разных источников*

Все эксперименты показали, что свет проникает через палец не напрямую, т.к. нет «тени» от кости пальца. Следовательно, свет рассеивается по тканям, огибая кости, и проводником является либо межклеточная жидкость, либо клетки мышечной ткани, либо кровь.

Чтобы проверить версию о влиянии крови на распространение света в пальце, был поставлен эксперимент, в котором оператору перетянули резиновым жгутом палец и после того, как он приобрел синеватый оттенок, на него был направлен свет от

светодиода. Эксперименты показали, что свет через палец, перетянутый жгутом, не проходит (рис. 20).

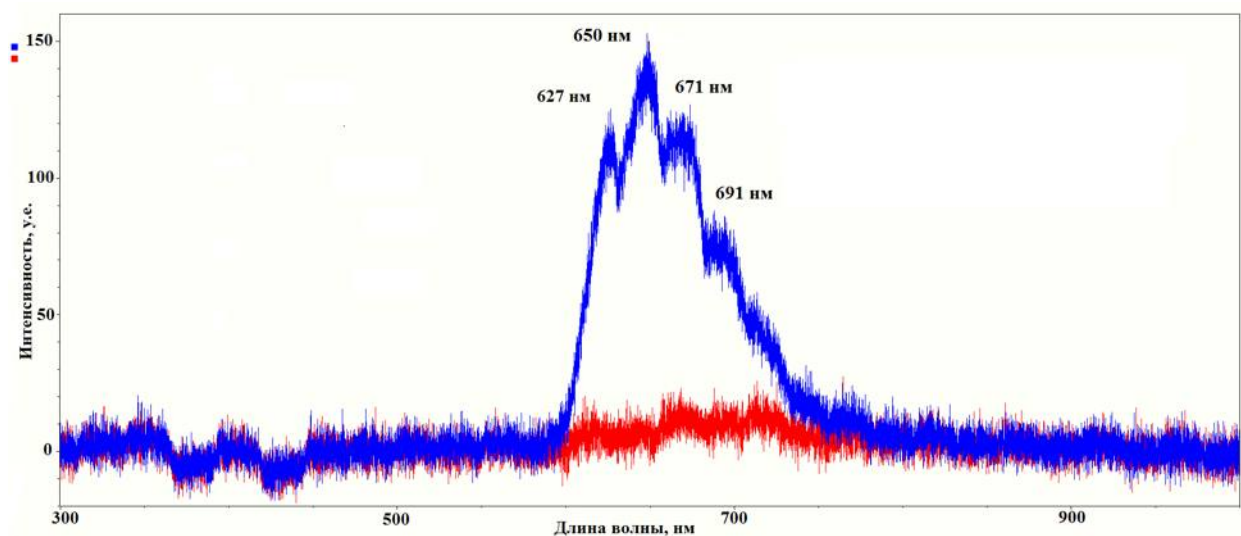


Рис. 20. Спектр излучения от «белого» светодиода прошедшего через палец человека: синий график — палец не перетянут эластичным жгутом, красный график — палец перетянут эластичным жгутом (экспозиция — 1 сек).

Результат эксперимента однозначно трактуется авторами как факт подтверждения гипотезы о проведении света через ткани человека за счет крови. Но поскольку после перетягивания жгутом кровь из артерий и вен уйти не могла, то была выдвинута гипотеза, что свет «проводит» кровь в мелких капиллярах, которые из-за отсутствия давления в артериях перестали насыщаться кровью (о чем свидетельствует и синий цвет пальца).

Для проверки того, как кровь в пальце проводит свет разной длины волны и от разных источников, была поставлена серия экспериментов (рис. 21–25).

Во-первых, было обнаружено, что свет белого светодиода при прохождении через палец приобретал характерный спектр в красной области — 620–690 нм (рис. 20).

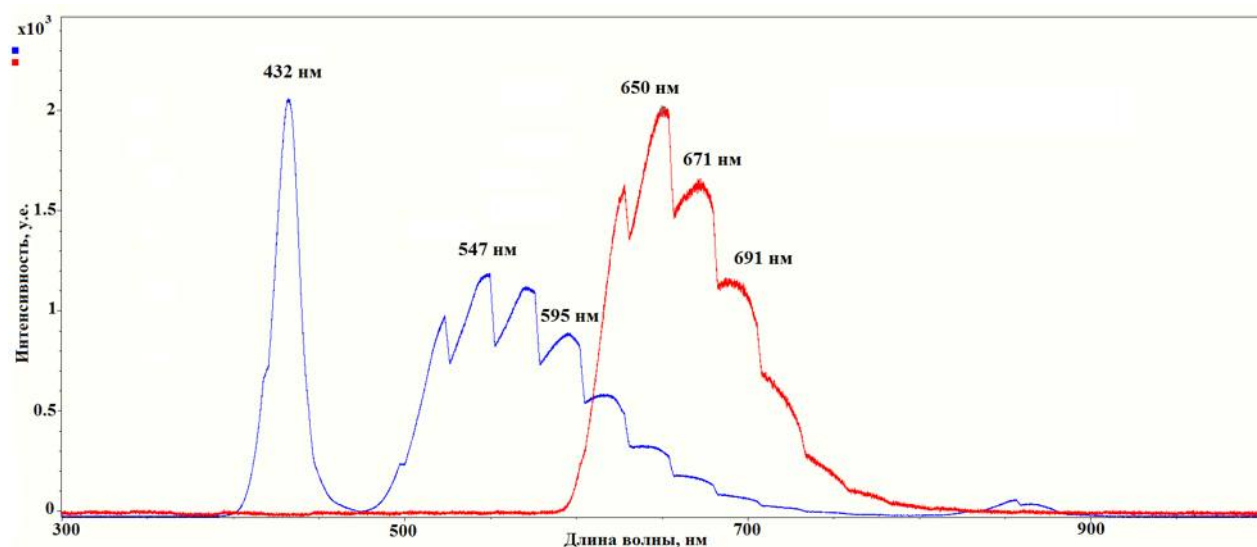


Рис. 21. Спектр излучения: синяя кривая — «белого» светодиода (экспозиция — 0.01 сек), красная кривая — «белого» светодиода через палец человека (экспозиция — 1 сек)

При этом существенно падала интенсивность света, т.к. кривая для прошедшего через палец света получена при экспозиции в 100 раз большей.

Эксперименты с просвечиванием пальца китайскими красными светодиодами с пиком мощности на 624 нм показали, что спектр прошедшего света смещается в более длинную сторону и мы получаем те же самые четыре моды: 624 нм, 653 нм, 674 нм и 692 нм, что и при прохождении белого света. Но здесь ослабление уже не в 100, а в 10 раз (рис. 22). Это свидетельствует о том, что красный спектр света более благоприятен для прохождения через ткани.

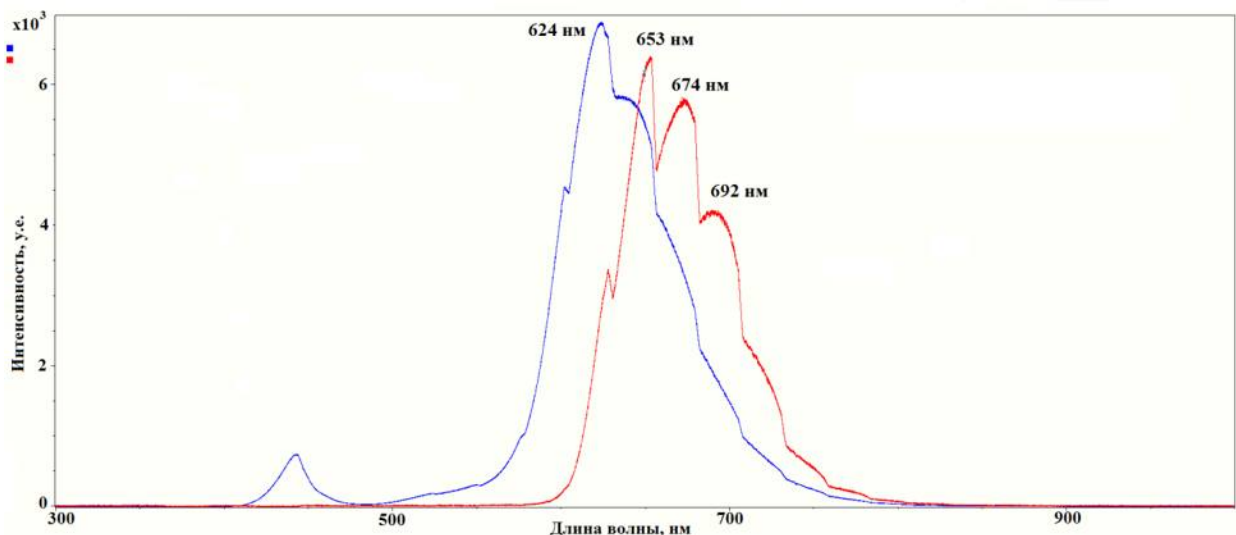


Рис. 22. Спектр излучения: синяя кривая — китайский пояс со светодиодной матрицей (экспозиция — 0.01 сек), красная кривая — китайский пояс через палец человека (экспозиция — 1 сек)

Важно отметить, что независимо от цвета источника (белый или красный) спектр на просвет имеет одинаковую кривую с четырьмя максимумами: на 627 нм, 653 нм, 674 нм и 692 нм. Это наводит на предположение, что именно эти четыре моды характерны для рассеивания света эритроцитами.

Чтобы понять источник красного спектра при просвечивании пальца светом, был использован синий светодиод (рис. 23).

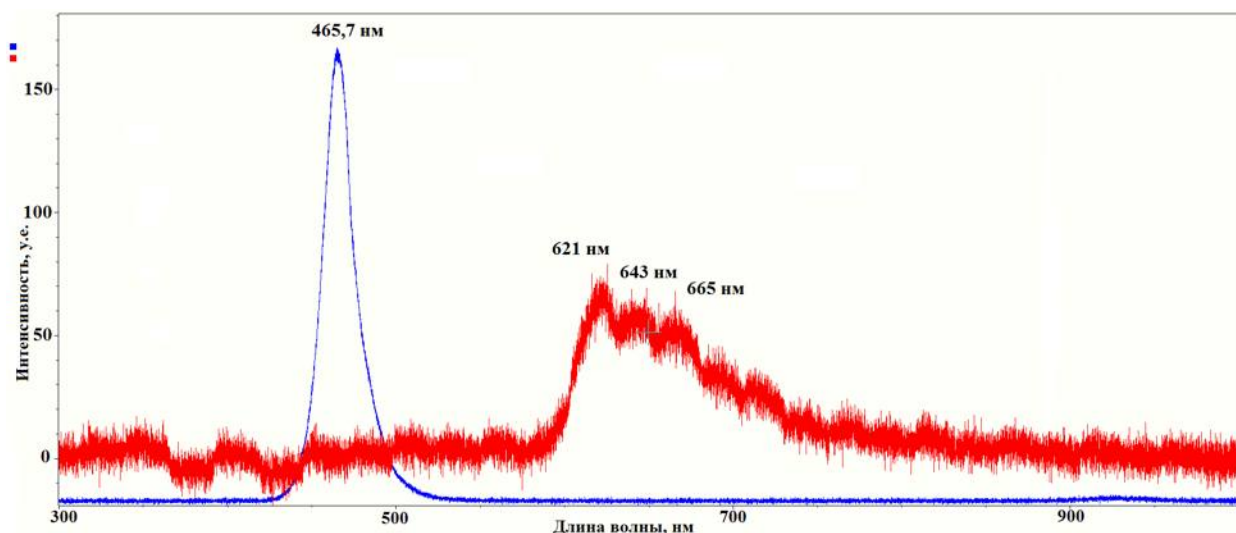


Рис. 23. Спектр излучения синего светодиода (экспозиция — 0,01 сек) — синяя кривая; синего светодиода через палец человека (экспозиция — 1 сек) — красная кривая.

Спектрограммы показали, что на той же длине волны палец светится по-прежнему в красном диапазоне спектра и выявляются три подобные предыдущим вариантам моды, но со сдвигом в коротковолновую часть спектра примерно на 30 нм: 621 нм, 643 нм и 665 нм. Можно было предположить, что они возникли за счет прохождения той части спектра от синего светодиода, который относится к длинноволновому «хвосту» его излучения. Второй версией является механизм люминесценции, который приводит к переизлучению в характерном для крови диапазоне от 620 до 665 нм. Для проверки этой версии был проведен замер прохождения через палец света от зеленого луча лазера с очень узким диапазоном длин волн (рис. 24).

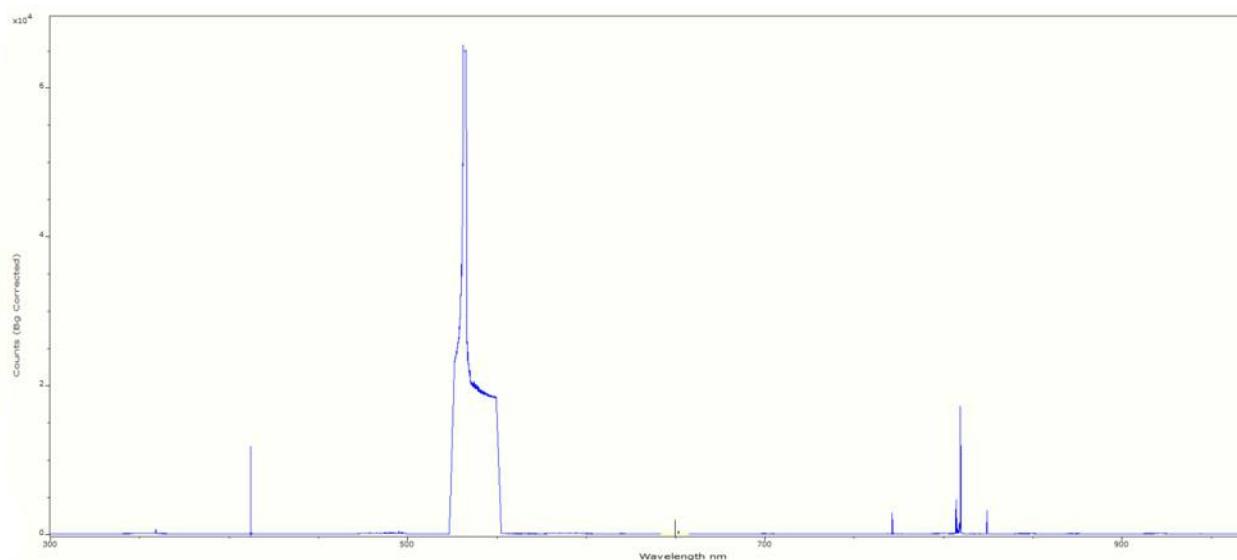


Рис. 24. Спектр свечения «зеленого» лазера

При пропускании света от зеленого лазера через палец прошел опять-таки красный свет с тремя характерными модами в диапазоне от 620 до 650 нм, что приводит к предположению, что кровь люминесцирует именно на этих трех модах (рис. 25).

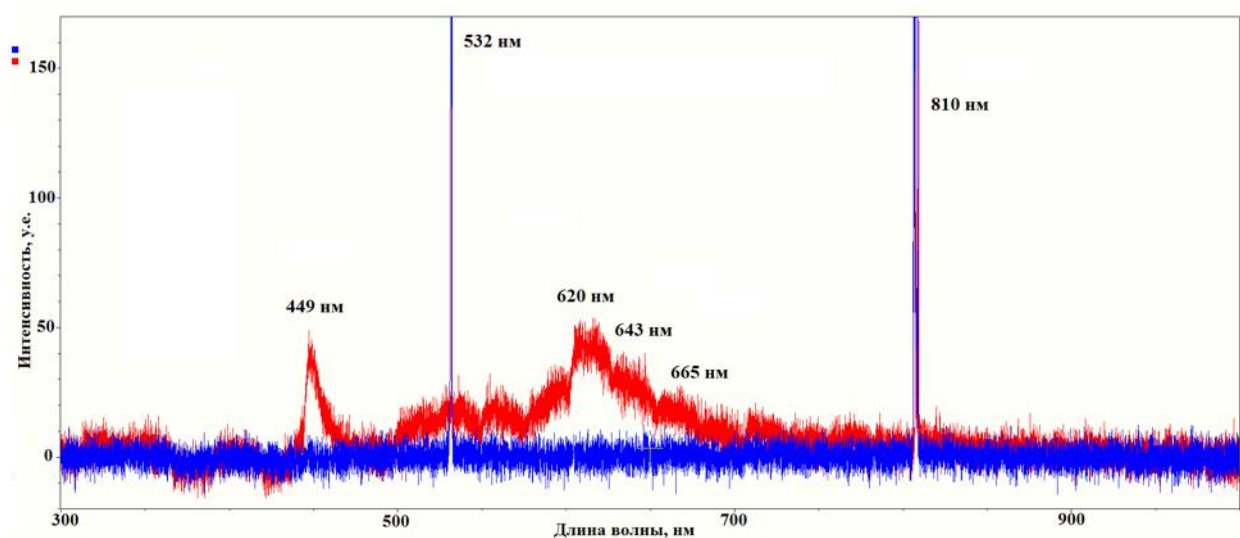
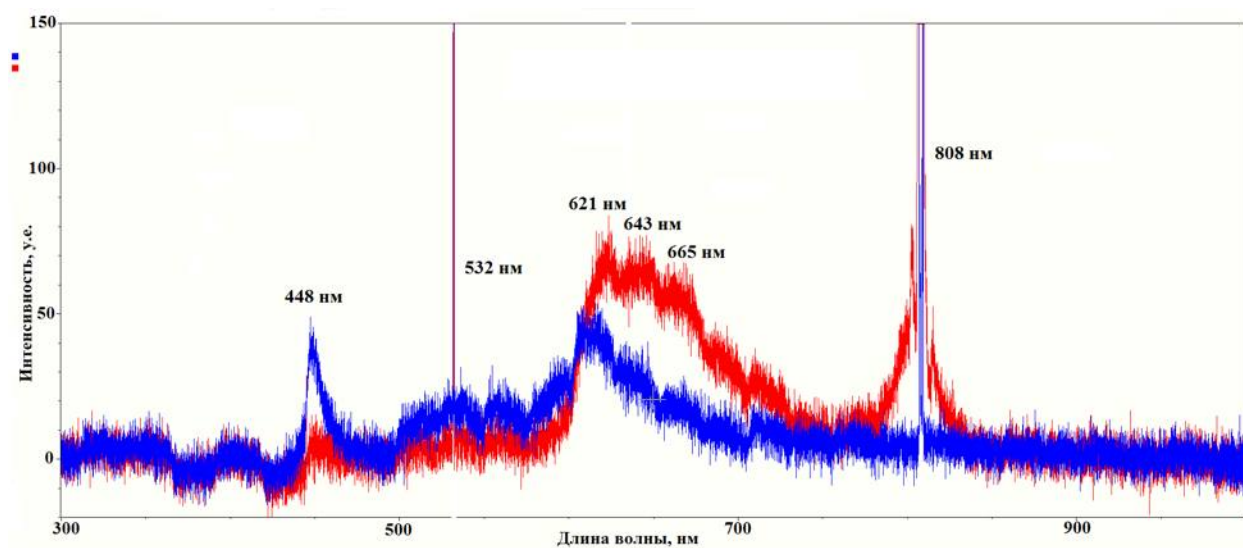


Рис. 25. Спектр излучения зеленого лазера с длиной волны 532 нм (через фильтр — 0,3%, экспозиция — 0,5 сек) — синий график; зеленого лазера через палец человека (экспозиция — 0,5 сек) — красный график.

На *рис. 25* видно, что все те же три моды возникают в той области спектра, в которой зеленый лазер вообще ничего не излучает. Вывод: мы имеем дело с люминесценцией. Общий вывод таков: независимо от спектра излучения в видимом диапазоне волн (проверено до 650 нм) сквозь палец проходит свет в диапазоне 620—690 нм с одинаковой трехмодальной структурой — люминесценция или четырехмодальной волной — фильтрация с изменением интенсивности. Возникает вопрос об источнике такого спектра и о причинах его сдвига.

Для проверки влияния типа лазера на распределение мод люминесценции были проведены сравнительные исследования двух разных по характеристикам зеленых лазеров (*рис. 26*). Результаты действительно отличаются по распределению мощности между модами, но значение мод остается неизменным.



*Рис. 26. Спектры прохождения через палец человека двух полупроводниковых «зеленых» лазеров: синий график — спектр «зеленого» лазера №1 через (большой) палец, экспозиция — 1 сек; красный график — спектра «зеленого» лазера №2 через (мизинец) палец, экспозиция — 0.5 сек. Лазеры №1 и №2 отличались мощностью выходного излучения*

Из этого вывода возникло предположение, что внутри ткани происходит, во-первых, фильтрация только красного света, и эта фильтрация дает четыре моды: 624 нм, 653 нм, 674 нм и 692 нм, во-вторых, за счет люминесценции порождается спектр крови от любого источника с меньшей длиной волны с тремя другими модами, которые сдвинуты в меньшую область: 621 нм, 643 нм и 665 нм. Механизм такого явления описывается в различных источниках, например:

«При облучении различных клеток позвоночных и беспозвоночных животных, а также растений и микроорганизмов коротковолновым ультрафиолетом ( $\lambda = 250\text{--}280$  нм) можно зарегистрировать их флуоресценцию. Это свечение объясняется тем, что многие ткани организма содержат вещества (витамины, белки и др.), способные флуоресцировать под действием света. Такая флуоресценция биомолекул называется *собственной*. Собственная ультрафиолетовая флуоресценция живых тканей определяется главным образом свечением белков.

Флуоресценция в красной области присуща прежде всего *порфиринам*, содержащим их цитохромам, пероксидазе, каталазе, гемоглобину, миоглобину и др. Спектры флуоресценции порфиринов обычно имеют две полосы: более интенсивную в красно-оранжевой области 600–650 нм и менее интенсивную в более длинноволновой красной области»<sup>19</sup>

19 [https://studopedia.ru/9\\_100826\\_lyuminestsentsiya-biologicheskikh-sistem.html](https://studopedia.ru/9_100826_lyuminestsentsiya-biologicheskikh-sistem.html)

Чтобы проверить, какова доля фильтрации и какова доля люминесценции, необходимо измерить суммарную мощность проходящего света в разных случаях. Один из методов — измерение площади под кривыми излучениями с внесением поправок на время выдержки. Предварительные исследования приведены на *рис. 27*.

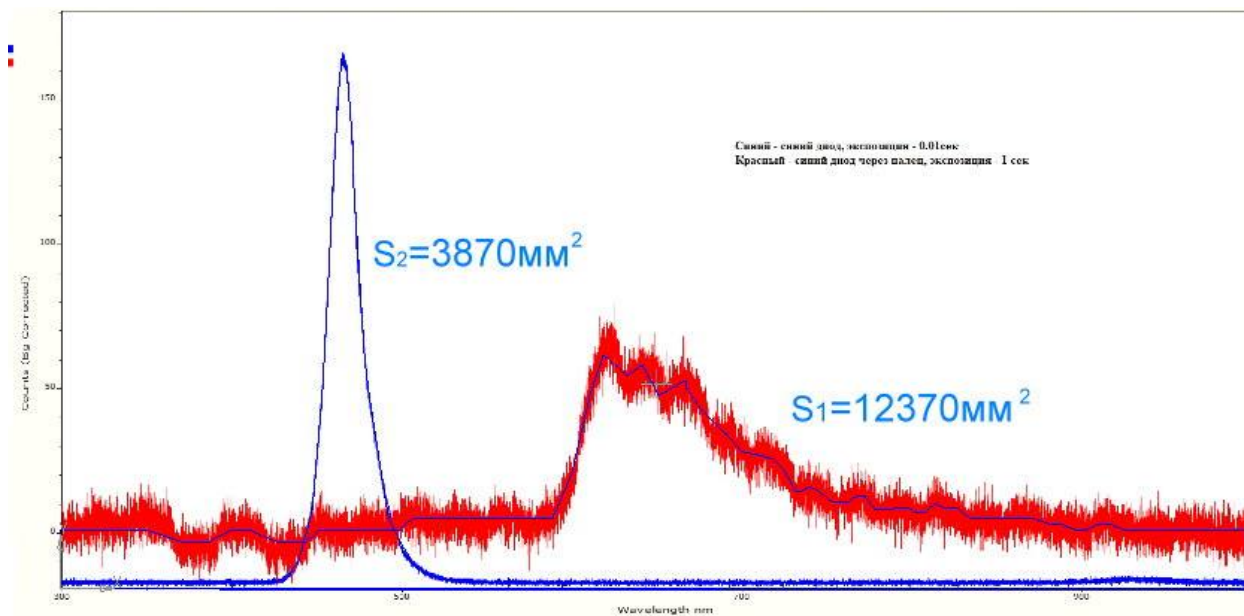


Рис. 27а. Площадь под кривой спектра света через палец с учетом выдержки в 300 раз меньше площади под кривой спектра синего диода

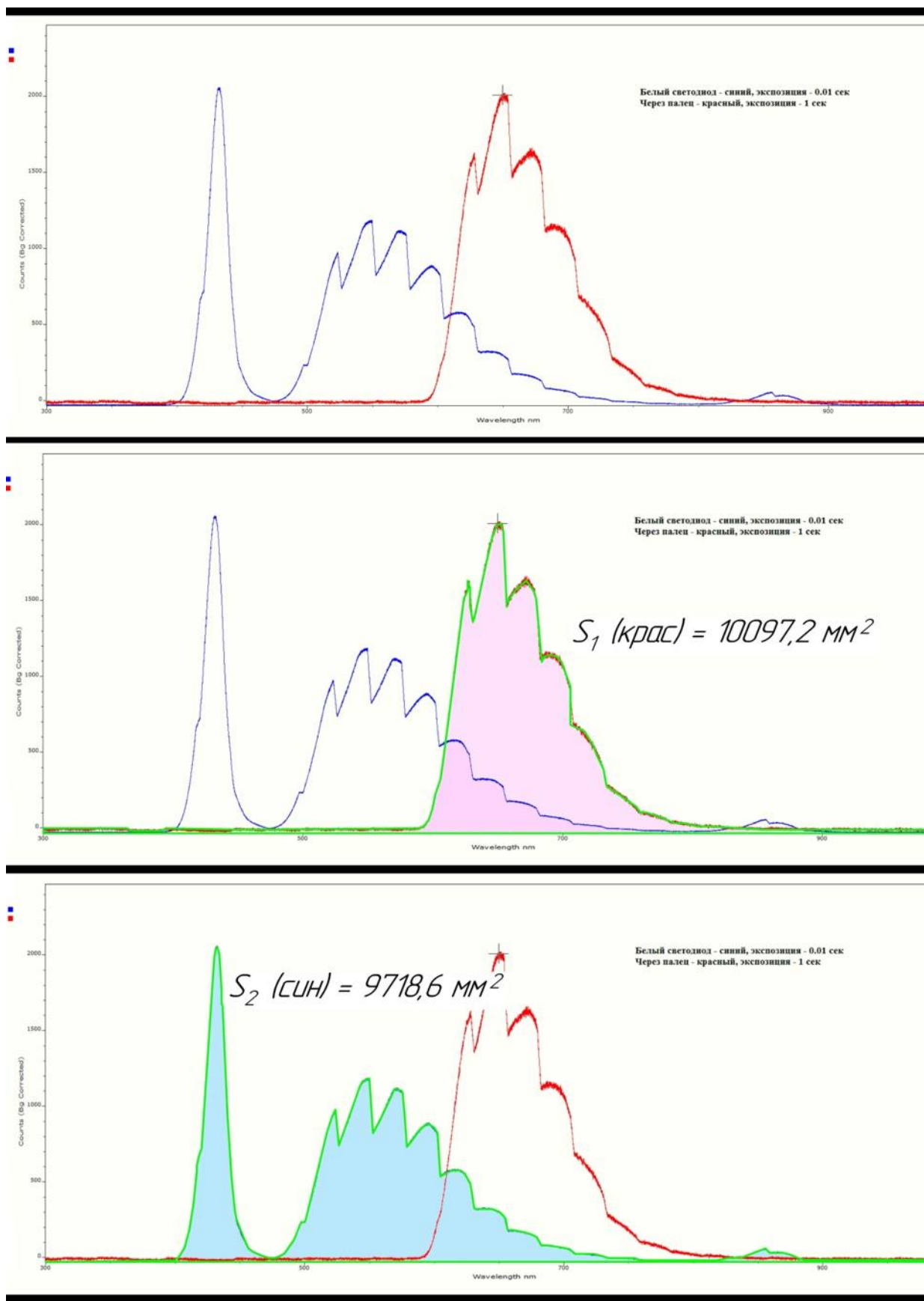


Рис. 276. Площадь под кривой спектра через палец в 100 раз меньше площади под кривой спектра белого светодиода



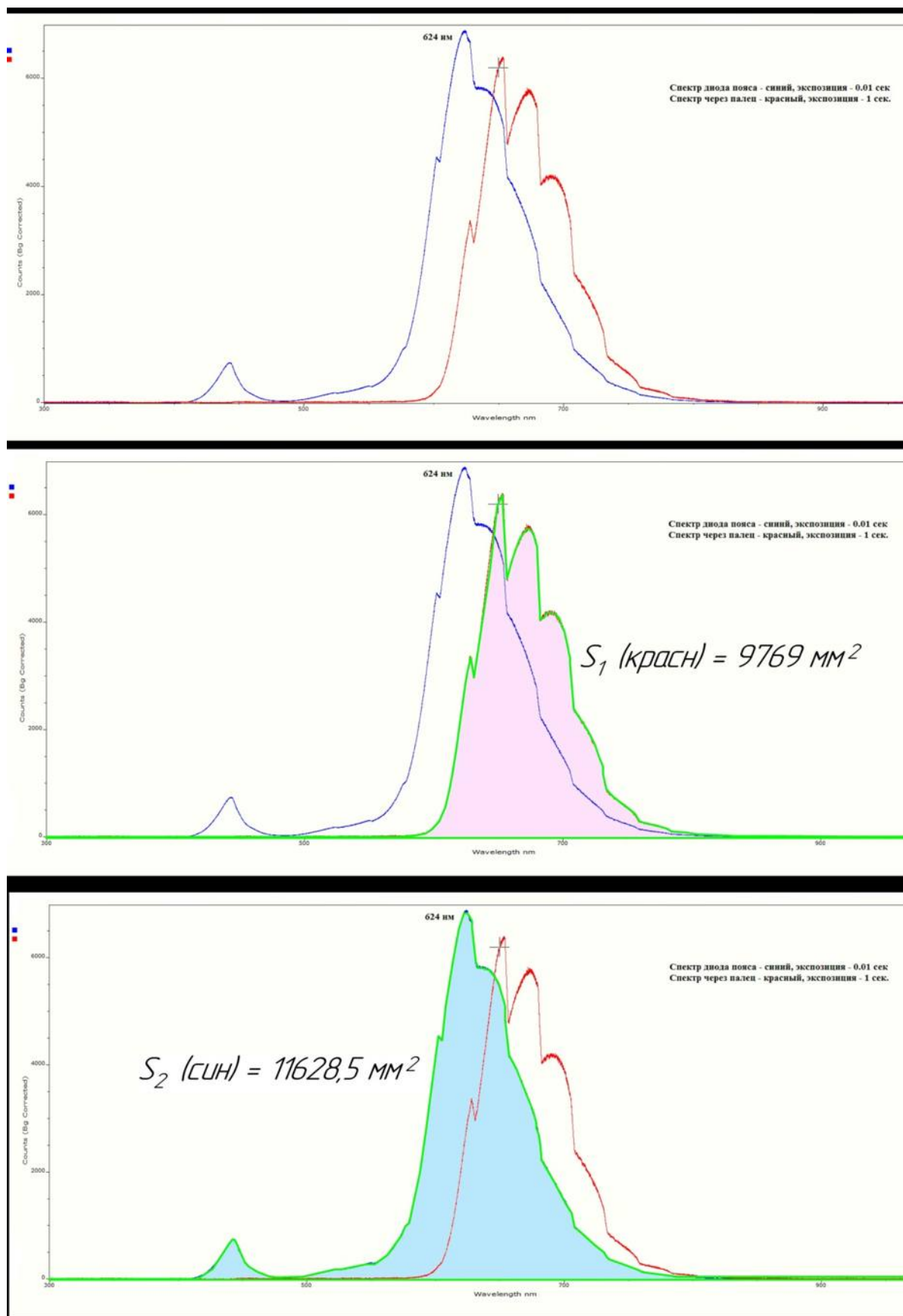


Рис. 27в. Площадь под кривой спектра света, прошедшего через палец, примерно в 85 раз меньше площади под кривой спектра от красного пояса

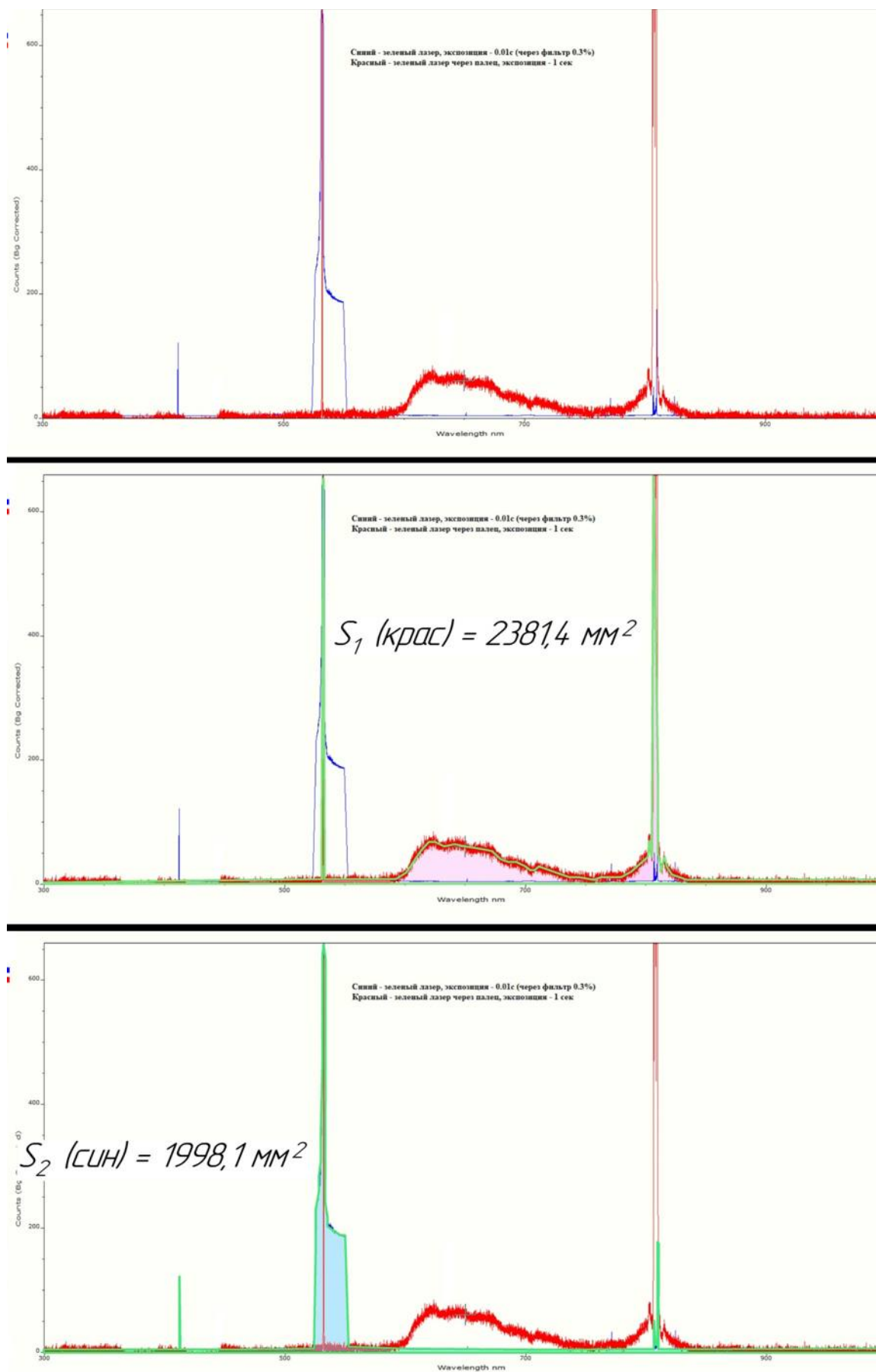


Рис. 27г. Мощность света, переизлученного пальцем при прохождении света от зеленого лазера, в 85 раз меньше исходной мощности света «зеленого» лазера

Обработка и анализ этих данных будет сделана в следующей работе.

Таким образом, есть основания предполагать, что свет, проходящий через палец переотражается кровью (эритроцитами) в собственном спектре, если эти длины волн присутствуют в исходном спектре. И люминесцирует в случае, если в исходном спектре нет такой длины волны. При этом идет ослабление в 85–300 раз для данного конкретного пальца и условий эксперимента.

Для прямого подтверждения был поставлен эксперимент с прохождением света через каплю крови оператора, помещенную в кювету перед спектрометром, через которую был пропущен свет зеленого лазера (рис. 28).



Рис. 28. Эксперимент с пропусканием луча «зеленого» лазера через каплю крови в кювете

В результате был получен спектр света, прошедшего через кровь (рис. 29).

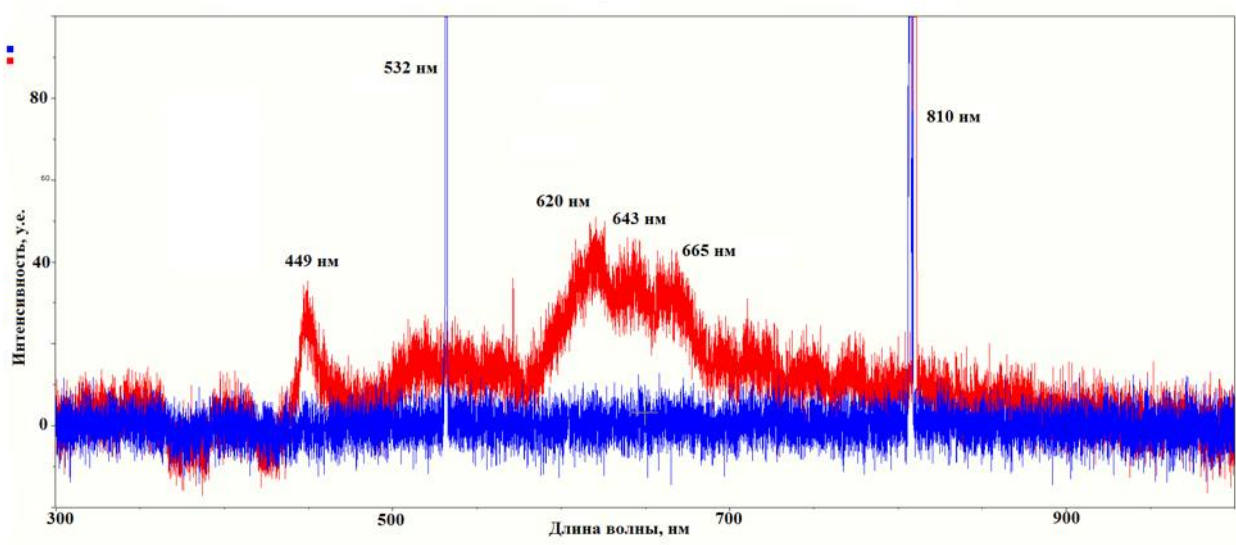


Рис. 29. Спектрограмма пропущенного через каплю крови света (красная кривая) от «зеленого» лазера (синяя кривая) с длиной волны 532 нм в области красного диапазона

В интересующем нас диапазоне возникают три моды: 620 нм, 643 нм и 665 нм, которые возникали и ранее при прохождении луча зеленого лазера через палец оператора, что подтверждает выдвинутую гипотезу о том, что источником свечения пальца (и всей ткани, соответственно) является все-таки кровь. В данном случае мы наблюдаем эффект люминесценции, который приводит к сдвигу спектра в короткую область на 30 нм. Но появился совершенно необъяснимый пик и на длине волны 449, который, возможно, является просто «шумом» из-за не четко организованного эксперимента.

Большой интерес представляет мода на длине волны 620–624 нм, которая присутствует практически во всех экспериментах без изменений. Она оказалась универсальной как для люминесцирующей крови, так и для фильтрующей.

На следующем этапе было решено провести эксперимент с прохождением через каплю крови света от белого светодиода (рис. 30).

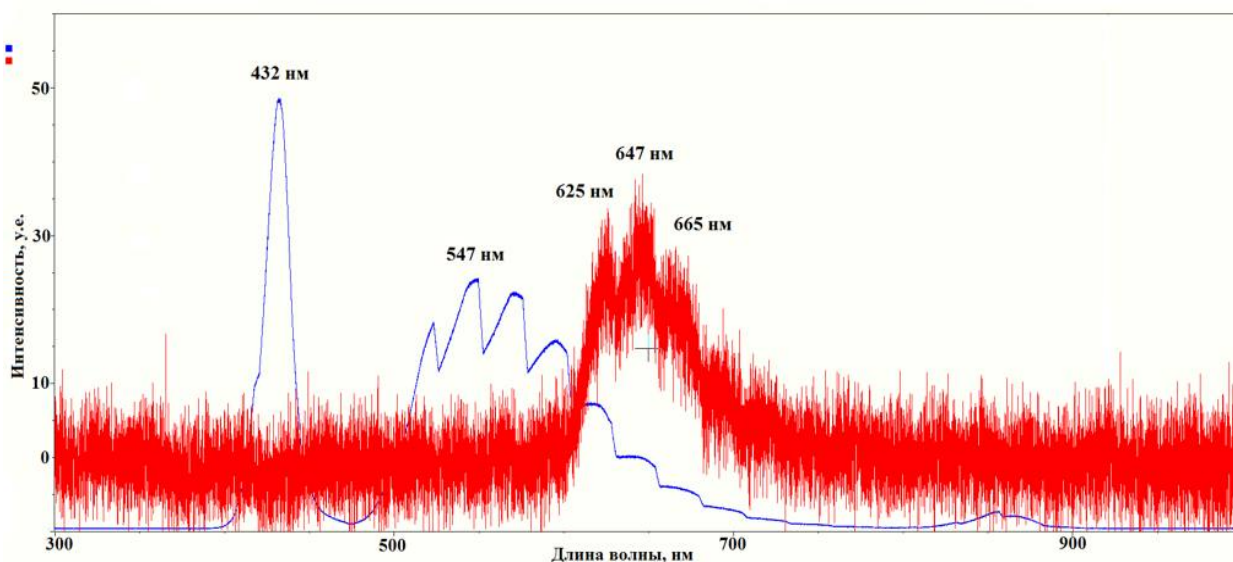


Рис. 30. Спектр света от белого светодиода (синяя кривая) и от света, прошедшего через каплю крови (красная кривая)

Из графика видно, что белый свет преобразуется в три основных моды: 625 нм, 647 нм и 665 нм, которые лишь незначительно отличаются от значений, полученных с использованием луча зеленого лазера.

Итак, спектр цвета крови, судя по проведенному эксперименту, имеет четкую трехмодальную характеристику с пиками на 620...625 нм, 643...647 нм и 665 нм.

Поскольку кровь состоит на 40 % из эритроцитов (красного цвета) и на 60 % из плазмы (желтого света), то можно предположить, что именно эритроциты являются «проводниками» света в диапазоне волн 620–690 нм в тканях. Которые рассеивают любой свет по тонким капиллярам и «выбирают» из него свет своей окраски.

Еще один интересный аспект — предполагаемая зависимость спектра крови от личности испытуемого. Для проверки этого предположения был поставлен эксперимент с измерением проходящего света через пальцы четырех разных человек. Все результаты в среднем приближении показывают, что спектр отраженного света крови не зависит от личности испытуемого (рис. 31).

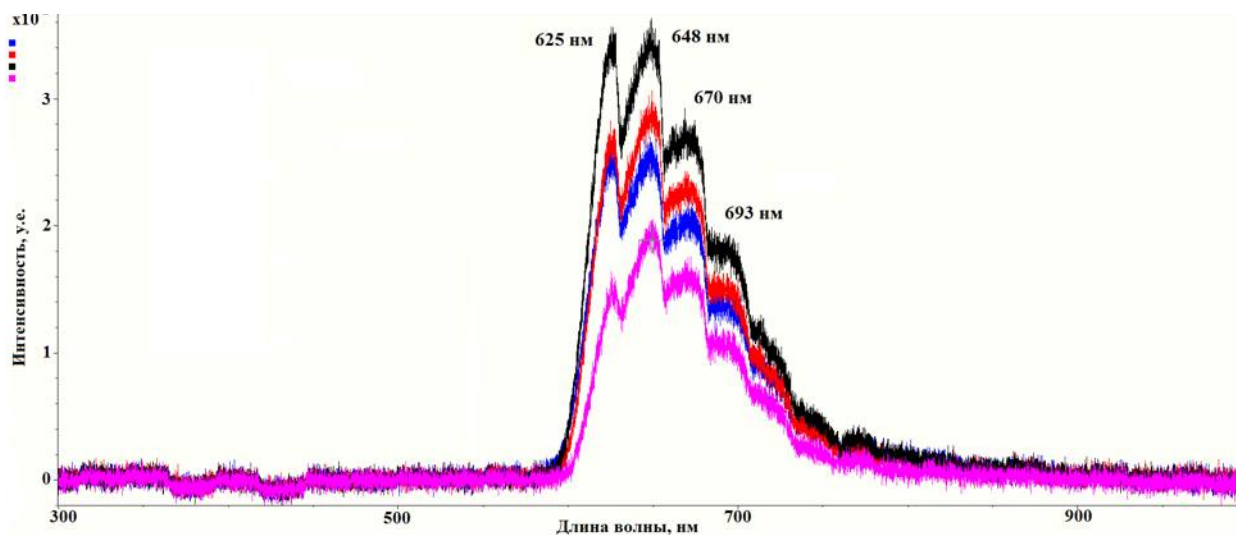


Рис. 31. Спектры излучения белого светодиода через палец четырех разных людей (экспозиция — 1 сек)

### Проверка глубины проникновения красного света в ткани человека

По данным различных источников, глубина проникновения красного света в ткани человека не превышает 25 мм. Для подтверждения этих данных были проведены предварительные эксперименты с прохождением красного света светодиодного источника с длиной волны 650 нм и мощностью в 6 Вт (рис. 32).



Рис. 32. Светодиодный фонарик китайского производства

Для проверки была использована рабочая гипотеза, что свет распространяется как в глубину, так и по поверхности одинаково через капилляры. Поэтому красный фонарик прижимался к поверхности кожи в разных местах руки и по ореолу определялось расстояние, на которое проходил свет (рис. 33).



Рис. 33. При одинаковой силе прижатия красного светодиодного фонарика ореол свечения получается различным. Меньше всего на тыльной стороне ладони

Причем, чисто визуально (без замеров) было отмечено, что в разных местах при одинаковом усилии прижатия свет распространяется по-разному: меньше всего на тыльной стороне кисти, лучше всего на поверхности руки. Общая ширина светового ореола действительно находится максимум в области 15–20 мм. Но при этом четко различаются три зоны — яркая, средняя и слабая, что свидетельствует о трех различных механизмах рассеивания света в тканях (рис. 34).

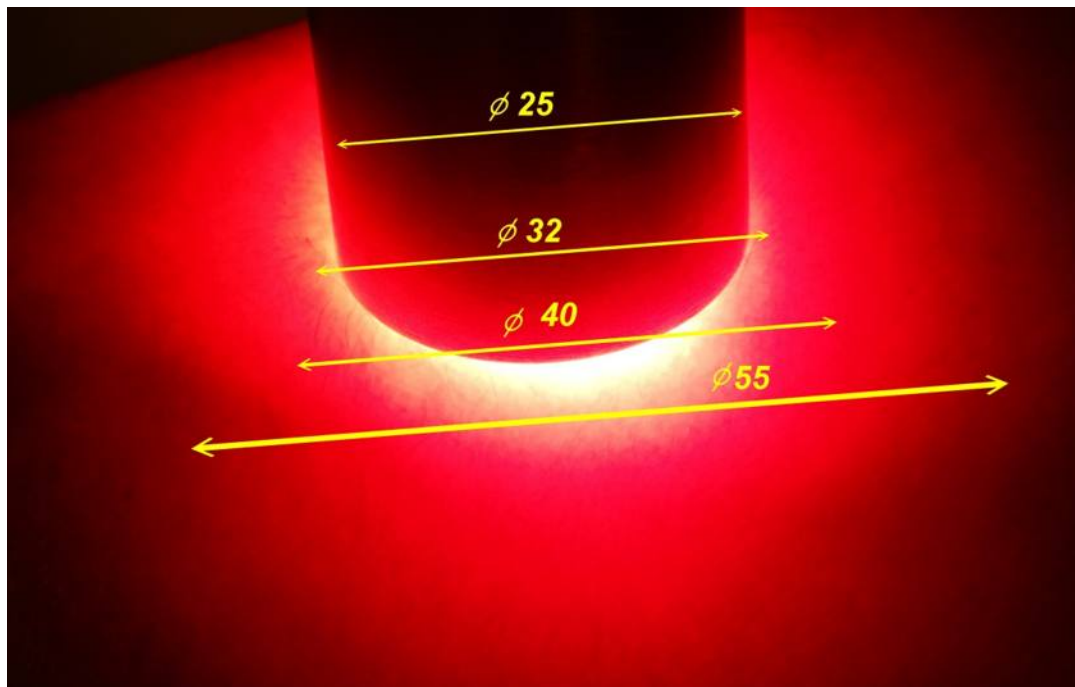


Рис. 34. Ореол красного света вокруг прижатого к руке испытуемого красного фонарика

О том, насколько влияет спектр пропускаемого через ткани света, говорят и сравнительные ореолы от фонарика белого света такой же мощности (рис. 35).

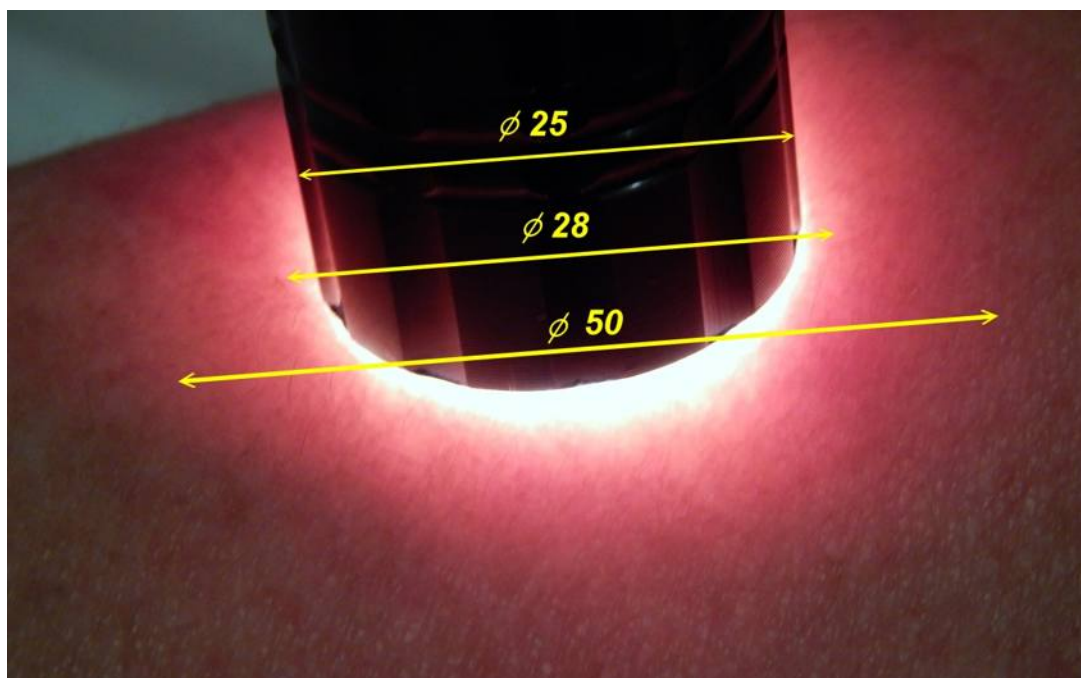


Рис. 35. Ореол красного света с белым ближним кольцом от прижатого к руке испытуемого белого фонарика

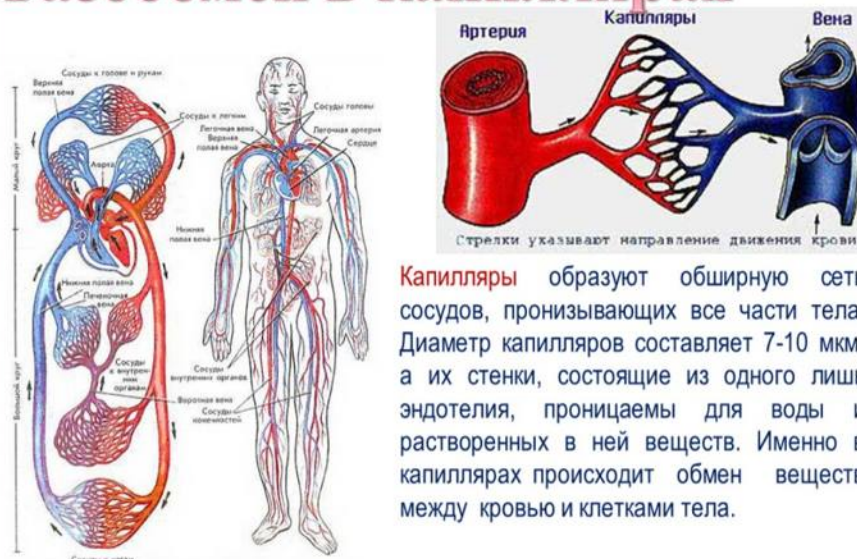
Мы видим, что, во-первых, спектр свечения ткани оператора сдвинут в синюю область. А, во-вторых, общая интенсивность свечения и площадь заметно меньше. И что очень важно — ближний ореол к фонарику имеет белый свет, следовательно свет от белого фонарика сначала распространяется без изменения спектра, а потом постепенно краснеет. Это, скорее всего результат того, что переизлучение в тканях идет не сразу, а поэтапно.

Данный вопрос, безусловно, нуждается в более детальной проработке.

### **Гипотеза о решающем влиянии капилляров на проникновение и распространение красного света в тканях человека**

Эксперименты с прохождением красного света светодиодного источника с длиной волны 650 нм и мощностью в 6 Вт, а также внешний вид ореолов красного света на концах пальцев позволил сделать предварительное предположение, что главным распространителем света в тканях являются капилляры (рис. 36).

## Газообмен в капиллярах



**Капилляры** образуют обширную сеть сосудов, пронизывающих все части тела. Диаметр капилляров составляет 7-10 мкм, а их стенки, состоящие из одного лишь эндотелия, проницаемы для воды и растворенных в ней веществ. Именно в капиллярах происходит обмен веществ между кровью и клетками тела.

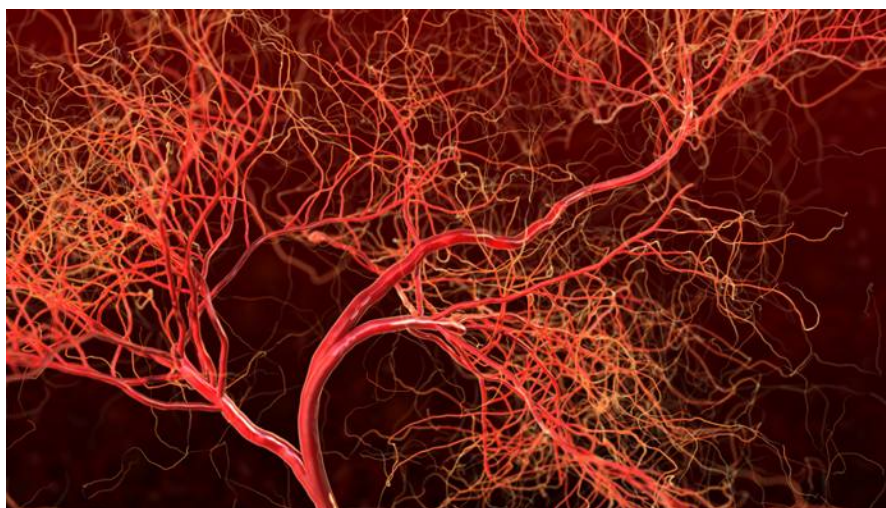


Рис. 36. Схема кровообращения в теле человека и место капилляров в этой схеме (вверху). Капиллярное разветвление (внизу)

Капилляры распределены в руке неравномерно (рис. 37), что и может объяснить различную пропускную способность тканей и отсутствие «теневого эффекта» костей пальцев.



Рис. 37. Рука с сетью капилляров (слева) и палец, просвечиваемый красным фонариком (справа)



На основании этих исследований был создан опытный образец светодиодного пояса широкого спектра применения (рис. 38).



Рис. 37. Опытный образец красного пояса, созданный на основе проведенных исследований. Его характеристики: напряжение АС — 220 В, ток матрицы — 1,5 А, мощность — не более 20 Вт. Габариты: 1200x150. Вес — не более 0,5 кг

## Выводы

Проведенные эксперименты позволяют сделать предварительные выводы:

1. Свет распространяется в тканях через кровь. Рассеивание идет предположительно преимущественно через мелкие капилляры.
2. В крови свет переизлучается, скорее всего, эритроцитами, которые и задают его спектральную характеристику.
3. Спектр проходящего света лежит в диапазоне 620–700 нм и имеет четыре характерные моды: 621 нм, 653 нм, 674 нм и 692 нм, которые в различных экспериментах выделяются в разной степени.
4. При отсутствии в спектре падающего света участка с длинами волн красного диапазона, например света от зеленого лазера с длиной волны 450 нм, в крови происходит переизлучение (люминесценция) и возникает характерный трехмодальный горб с постоянными длинами волн люминесценции: 620, 643 и 655 нм.
5. Отдельный интерес представляет собой дискретный характер спектра, который воспроизводится при всех экспериментах. Расстояния между модами при этом чаще всего составляют порядка 20 нм.
6. Контактные пояса предположительно должны быть более эффективными, чем источники дистанционного облучения.
7. Важную роль играет и ширина пояса, т.к. это позволяет охватывать сразу большие участки тела.