

А.Г. Григорьянц, А.Р. Евстигнеев

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ  
ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ**

*Рассмотрены основные достижения МГТУ им. Н.Э. Баумана и Калужского медико-технического лазерного центра по исследованию возможностей использования низкоинтенсивного лазерного излучения в медицине для терапевтического применения. Приведены основные типы лазерных аппаратов, рекомендованных Минздравом для различных терапевтических целей, разработанные и освоенные промышленностью в серийном производстве.*

**E-mail: mt12@bmstu.ru**

**Ключевые слова:** лазерная низкоинтенсивная терапия, поверхностная обработка, магнитолазерная обработка.

В середине 1980-х годов академик Г.А. Николаев, стоявший у истоков создания кафедры «Лазерная техника и технология», рекомендовал обратить серьезное внимание на возможности использования лазерного излучения для лечения человека.

Первые активные научные разработки проводились молодыми исследователями, аспирантами и инженерами кафедры под непосредственным руководством Г.А. Николаева.

На начальном этапе провели анализ многочисленных экспериментальных данных, полученных на кафедре, по использованию лазерного излучения для стимуляции процессов заживления пораженных биотканей. Была выявлена необходимость разработки технологических основ и аппаратуры для лазерной обработки биотканей и методов объективного контроля процессов регенерации. С позиции бионического подхода лазерную обработку следует рассматривать как биотехническую систему взаимодействия лазерного излучения с живой биотканью. Для функционирования системы в едином информационном ключе требуется учитывать спектральные оптические параметры биотканей и поглощенную биотканью дозу энергии при лазерной обработке.

Для этого разработаны и созданы биофотометрические приборы и методики определения оптических параметров живых биотканей различной локализации. Установлено, что коэффициенты отражения биотканей являются переменными, временными параметрами и зависят от анатомического строения участка исследования биоткани, пола и возраста обследуемого пациента, а также вида лазерного излучения. Особенностью является то, что раневая поверхность обладает неоднородными оптическими параметрами отражения, которые отличаются от параметров здоровой поверхности и имеют более постоянное значение в течение суток. Для направленного изменения и ста-

билизации оптических параметров биотканей при лазерной обработке были использованы химические (витальные красители), физические (магнитная, ультразвуковая обработка) и механические (прикладываемые напряжения) методы.

Для практического применения низкоинтенсивного лазерного излучения выполнена оптимизация значений энергий, вводимых в биоткань при воздействии гелий-неонового лазера с длиной волны излучения  $\lambda = 0,63$  мкм и полупроводниковых лазеров на арсениде галлия с длиной волны  $\lambda = 0,81 \dots 0,96$  мкм. Установлены фазовые зависимости для достижения эффекта стимуляции при различных состояниях биоткани и способах лазерной обработки (в пред- и послеоперационный периоды, а также через перевязки) с помощью метода фотометрии. Использование единой системы выбора технологических режимов лазерной обработки биотканей в конкретных условиях и объективной диагностики их состояния, позволило осуществить единый подход к оценке действия лазерного излучения на различные биоткани, и в конечном счете получить стабильные, воспроизводимые результаты. Это имеет большое значение для дальнейшего создания специализированных медицинских лазерных терапевтических установок.

Внедрение таких разработок в медицинские учреждения позволило создать новые способы лечения, профилактики и диагностики биотканей. Целесообразность разработок была подтверждена проблемной комиссией по применению лазерного излучения в медицине при Академии медицинских наук СССР.

Первая клиническая апробация разработок кафедры «Лазерная техника и технология» была проведена в хирургическом отделе Центрального научно-исследовательского института туберкулеза (ЦНИИ туберкулеза) Минздрава СССР, в травматологическом отделении Главного военного клинического госпиталя им. Н.Н. Бурденко, в клинике челюстно-лицевой хирургии 1-го Московского медицинского института им. И.М. Сеченова, в гастроэнтерологическом отделении Калужской городской больницы, в эндоскопическом центре 6-й клинической больницы г. Москвы.

Механизм биологического действия низкоэнергетического лазерного излучения весьма сложен и оказывает многофакторное влияние на организм человека. Экспериментальные и клинические данные свидетельствуют об изменении энергетической активности клеточных мембран, активации ядерного аппарата, системы ДНК — РНК — белок, об усилении поглощения тканями кислорода, активации окислительно-восстановительных процессов, увеличении биоэнергетического потенциала клетки. Таким образом, возникает комплекс адаптационных компенсаторных реакций в целостном организме, направленных на восстановление гомеостаза, т. е. под действием лазерного излучения происходят изменения, которые реализуются на всех уровнях организации живой материи — субклеточном, клеточном, тканевом, органном.

В последующих работах кафедры изыскивались возможности повышения эффективности воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения в терапевтических целях. Был исследован процесс магнитолазерной обработки ран. Выявлены закономерности изменения площади раны и биопотенциала в ней при заживлении ран, обрабатываемых лазером и магнитным полем. Создана модель для установления требуемой дозы воздействия, учитывающая фактическое состояние биообъекта, параметры используемых лазеров и магнитных полей и рекомендуемые параметры лечебного эффекта.

Энергия квантов низкоинтенсивного лазерного излучения нарушает электролитические связи между ионами. Постоянное магнитное поле способствует этой диссоциации и одновременно препятствует рекомбинации ионов в процессе сочетанного воздействия. При этом увеличивается глубина проникания светового потока в ткани. При сочетанном магнитолазерном воздействии, особенно при лечении глубоко расположенных патологических очагов, более эффективно применение низкоинтенсивного лазерного излучения ближней инфракрасной части спектра в диапазоне значений 0,8...1,2 мкм.

Следовательно, было установлено, что высокая лечебная эффективность достигается при сочетанном воздействии низкоинтенсивного лазерного излучения и постоянного магнитного поля на одну и ту же область биологического объекта, так как происходит не простое суммирование однонаправленного действия, а развиваются качественно новые процессы.

В 1985 г. на кафедре «Лазерная техника и технология» был создан, запущен в производство и серийно освоен первый отечественный лазерный терапевтический аппарат «Узор» на полупроводниковых лазерах военно-медицинского назначения. Он предназначен для лечения огнестрельных, минно-взрывных и механических ран в военных лечебных учреждениях Министерства обороны и для дальнейшей реабилитации раненых.

Медицинскими соисполнителями по научно-практическому направлению являлись ведущие специалисты Военно-медицинской академии (Санкт-Петербург), Главного военного клинического госпиталя им. Н.Н. Бурденко, Центрального госпиталя ФСБ и др. В течение нескольких лет аппараты «Узор» использовали только в закрытых лечебных учреждениях. Они применялись в Афганистане, Чечне, Спитаке и прочих «горячих» точках благодаря его ранозаживляющим и асептическим свойствам.

Полученные в период клинических и полевых испытаний положительные результаты стали основой для серийного выпуска и практического использования лазерных терапевтических аппаратов «Узор». В последующие годы благодаря совместным работам с ЦНИИтуберкулеза, 2-м Московским медицинским институтом им. Н.И. Пирогова, ЦНИИстоматологии, ЦНИИкурортологии были выпущены первые в России официальные методические рекомендации по применению аппарата «Узор» во многих областях медицины.

В настоящее время исполнилось 25 лет с тех пор, как в широкой медицинской практике начали применяться уникальные лазерные аппараты «Узор» нескольких модификаций. За это время в Калужском медико-техническом лазерном центре под руководством профессора, доктора технических наук А.Р. Евстигнеева было выпущено более 40 тыс. таких аппаратов, все они с большим успехом используются в лечении больных.

Малогабаритный аппарат «Узор» весьма прост и удобен в эксплуатации, соответствует всем требованиям техники безопасности на уровне бытовых приборов, имеет большой срок наработки на отказ (около трех-пяти лет).

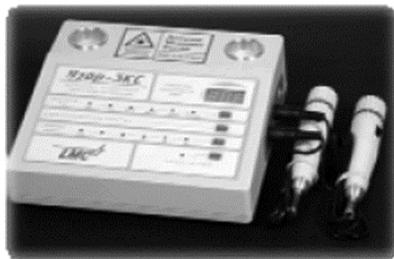
В период разработки и внедрения лазерных аппаратов было получено много авторских свидетельств и патентов на конструкции и способы применения лазеров в различных областях медицины.

Ярко выраженное противовоспалительное и противоотечное действие, стимуляция микроциркуляции, ускорение заживления раневых поверхностей, нейротропное, анальгезирующее действие и многое другое выгодно отличает эти аппараты от других моделей. Лазерная терапия с использованием импульсных полупроводниковых лазеров инфракрасного диапазона, а также магнитных насадок высокоэффективно стимулируют системы иммунологической защиты организма.

В настоящее время благодаря успехам квантовой электроники и оптики появились новые типы лазерных излучателей терапевтического действия инфракрасного и красного диапазонов. С 2005 г. разработаны и освоены в производстве новые модели аппаратов: «Узор-3К» и «Узор-3КС» (рис. 1). Для поликлинической сети, медицинских



*а*



*б*

**Рис. 1. Лазерные терапевтические аппараты «Узор-3К» (а) и «Узор-3КС» (б)**

центров различной формы собственности, частных предпринимателей в области медицины предложена новая комплектация аппарата «Узор-3К», включающая в себя различные блоки излучения, с разными длинами волн излучения, набор магнитных и световодных насадок. Такая комплектация расширила функциональные возможности аппарата, так как позволила лечить ранее недоступные заболевания вследствие невозможности подведения лазерного излучения в

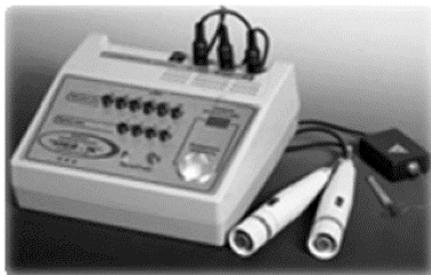
данную зону. В лазерный аппарат «Узор-3КС» встроен сканер частот следования импульсов. В этом режиме частота сканирования проводится в течение 1 с попеременно, по кругу в течение выбранного времени. В этих аппаратах используется измеритель средней импульсной мощности, цифровая и звуковая сигнализация. Аппараты могут выполняться в футляре в виде кейса.

В настоящее время такие аппараты являются наиболее универсальными, так как позволяют использовать двухканальное инфракрасное лазерное и магнитолазерное воздействие, силовую лазеротерапию с помощью непрерывного красного излучения, матричные блоки излучения спектрального диапазона 0,41...0,96 мкм мощностью до 250 мВт некогерентного (светодиодного) излучения параллельно с лазерными импульсами, лазерное и магнитолазерное воздействие на кровь; световодные полостные насадки для стоматологии, отоларингологии, акупунктуры, гинекологии, проктологии. Глубина проникания излучения в мягкие ткани составляет до 4 см.

В косметологии все шире применяется лазеротерапия. Аппараты «Узор-3К» позволяют ускоренно ликвидировать раздражения и воспаления кожи после чистки лица, применяются при профилактике старения, сухости и дряблости кожи, повышают ее упругость и эластичность. Излучение этих аппаратов используется по утвержденным Минздравом методикам при фурункулезе, для заживления ран, предотвращения образования рубцов после удаления невусов, папиллом, фибром, кожного рога, лечения коллоидных рубцов после пластических операций и т. д. Приборы выполнены в пластиковых корпусах, не требуют заземления, а также специальных мер защиты врача и пациента от лазерного излучения, кроме очков.

Использование в низкоинтенсивной лазерной терапии с фиксированными частотами так называемых ультразвуковых частот (30...35 кГц) в импульсном режиме излучения имеет ряд особенностей. В связи с этим принципиально новыми аппаратами для лазеротерапии можно считать аппараты серий «Улей» и «Улан» (Калужский медикотехнический лазерный центр) (рис. 2). Лазерное излучение генерируется в автоколебательном режиме работы излучателя. Это позволяет получить импульсы лазерного излучения частотой до 33 000 Гц (ультразвуковой диапазон частот).

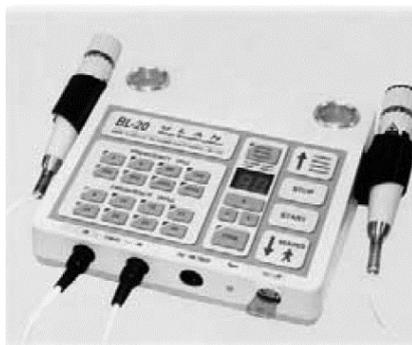
Исследования показали следующее: если низкоинтенсивную терапию осуществлять с использованием ультразвуковых частот (16 000...33 000 Гц), то в биотканях образуется ответная реакция, направленная одновременно на воздействие непосредственно лазерного излучения, а также на ультразвуковое воздействие. Когда на блоке лазерного излучения находится постоянный магнит (при магнитолазеротерапии с помощью аппаратов серий «Улей» и «Улан»), можно утверждать об одновременном воздействии на биоткани трех физиотерапевтических факторов — лазерного излучения, ультразвуковой частоты, магнитного поля. Все эти физические факторы нахо-



а



б



в

**Рис. 2.** Лазерные аппараты «Улей-3» (а), «Улей-3К» (б) и «Улан-БЛ-3К» (в)

дятся по своей интенсивности в физиологически допустимых диапазонах значений. Это воздействие оказывает максимальный эффект стимуляции, что влияет на быстроту (45...60 с) купирования болевых синдромов, увеличение (в 3—4 раза) скорости заживления раневых поверхностей, нормализацию сосудистых реакций и снятие отека, также отсутствует эффект «обострения», иногда свойственного лазеротерапии.

Применением ультразвуковых частот следования лазерных импульсов в аппаратах серии «Улей» достигнуто значительное увеличение средней мощности лазерного излучения (до 30 мВт и более). Как показали исследования, ультразвуковые частоты изменяют оптическую плотность биоткани, делая последнюю более прозрачной для лазерного излучения с длиной волны 0,85...0,98 мкм. Глубина проникания излучения в мягкие ткани возросла до 8 см. Это позволило открыть ранее неиспользуемые возможности по применению лазерного излучения для воздействия через кожу на внутренние органы, а также на конкременты при мочекаменной и желчекаменной болезнях в целях превращения конкрементов в макромолекулы и песок, которые удаляются из организма естественным путем за курс лечения. Особенно эффективен режим воздействия на конкременты, когда ультразвуковые импульсы лазерного излучения подаются сформиро-

ванными низкочастотными «пачками» (частота 1...12 Гц). При этом во внешних слоях конкремента образуются микротрещины, и микро-частицы конкремента получают степень свободы. За счет этого возникает эффект «осыпания» конкремента, при котором он уменьшается в объеме. Эта концепция воплощена в аппарате «Улей-2К-Урат», который выполнен в виде внешнего блока-приставки, позволяющего изменять не только низкочастотные «пачки» для импульсно-периодического режима излучения, но и их форму (прямоугольная, синусоидальная, треугольная). Все это дает возможность в значительной степени варьировать значения лазерных параметров.

Аппарат «Улей-2К-Урат» дополнен встроенным блоком для облучения крови, что относит этот аппарат к лазерным терапевтическим комплексам, которые с успехом заменяют одиночные аппараты и применяются не только в специализированных кабинетах лазерной терапии, но и в отделениях, а также в лазерных медицинских центрах.

Одна из усовершенствованных разработок — лазерный терапевтический аппарат «Улан-БЛ-3К» (рис. 2, в), который представляет собой физиотерапевтический кабинет в кейсе. Он объединяет в себе сразу три аппарата: «Узор-Рефлекс», «Узор-2К», «Улей-2К-Урат».

Аппарат оснащен световой, цифровой и звуковой сигнализацией, встроенным аттестованным цифровым измерителем средней импульсной мощности, цифровым таймером, ключом включения сети, сенсорным управлением. Блоки излучения имеют выключатели, световую сигнализацию работы лазеров, удобны и эстетичны. Аппарат относится к классу бытовых приборов, имеет пластиковый корпус, подключается к электрической сети без заземления; имеет европейский и российский сертификаты. Это один из лучших аппаратов для медицины в настоящее время в Европе и России, отмечен рядом дипломов России и Европейских конкурсов и выставок. Технические характеристики аппарата «Улан-БЛ-3К» приведены ниже:

Номинальная мощность, Вт .....	Менее 30
Частота импульсов лазерного излучения, Гц .....	2...30 000
Время процедуры, мин .....	1...99
Класс безопасности согласно PN-EN 60601 .....	Б
Класс лазерного оборудования .....	3Б
Точность измерения средней мощности согласно PN-EN 60601, % .....	Не менее 20
Габаритные размеры, мм .....	228 × 21 × 80
Напряжение, В, при 59 Гц .....	220

По конструктивным возможностям ультразвуковые частоты аппаратов серий «Улей» и «Улан» перекрывают все существующие частотные диапазоны следования импульсов (низкие, средние и высокие частоты), однако необходимо дальнейшее исследование воздействия ультразвуковых частот лазерных импульсов на биологический объект в целях создания биологических обратных связей пациент — аппаратура для индивидуального дозирования лазерных процедур.

Наряду с рассмотренными аппаратами, выпускаемыми серийно, были разработаны модели «Укол-Влок», «Улыбка», «Урат», «Узор-Рефлекс» и другие для различного терапевтического применения, которые получили соответствующие разрешения Минздрава для лечения отдельных заболеваний и выпускались промышленностью партиями. Всего разработано и освоено в производстве 22 новых типа лазерных аппаратов с наборами насадок и инструментов.

В заключение следует отметить, что лазерная терапия обладает рядом преимуществ перед традиционными методами лечения:

- простота и безопасность, позволяющие использовать аппараты у постели больного на дому, в экстремальных условиях, в специализированных машинах скорой помощи;

- отсутствие возрастных ограничений;

- обширный диапазон терапевтического действия;

- узкий круг противопоказаний;

- безболезненность и непродолжительность процедур;

- отсутствие аллергических реакций, присущих фармакологическим препаратам;

- высокая лечебная эффективность;

- стерильность лазерного луча;

- возможность проведения лазерных процедур в сочетании с медикаментозными препаратами (увеличивает КПД таких препаратов), магнитами, аэроионизацией (повышает коэффициент поглощения лазерного излучения на 16...18 %) и с другими лазерными установками, например газовыми лазерами.

Основным показателем для назначения лазеротерапии с использованием аппаратов на полупроводниковых лазерах является клиническая целесообразность стимуляции местных и общих реакций организма в целях нормализации их гомеостатических характеристик на различном структурно-функциональном уровне его организации. В частности, к таким показателям относятся:

- заболевания гнойного или септического характера, требующие стимуляции репаративных процессов;

- нарушение процессов эпителизации тканей;

- необходимость предоперационной подготовки больных для повышения репаративных способностей тканей в послеоперационном периоде;

- необходимость стимуляции репаративных процессов тканей для ускорения их органоспецифического и функционального восстановления;

- болевой синдром;

- нарушение иммунного статуса (иммунокоррекция);

- нарушение микроциркуляции;

- необходимость стимуляции биологически активных точек (БАТ) организма (лазеропунктура и т. д.).

Общие противопоказания для применения магнитолазеротерапии и лазеропунктуры такие же, как и для всех видов физиотерапевтического воздействия: онкологические заболевания, декомпенсированные состояния эндокринной системы, некоторые заболевания крови. Других специфических противопоказаний в настоящее время не выявлено.

Следует отметить, что Минздрав России утвердил методические рекомендации и выпустил инструкции по клиническому применению рассмотренных выше лазерных терапевтических аппаратов для лечения различных заболеваний.

В целях интенсивного расширения применения лазерных терапевтических аппаратов в различных регионах России Минздрав выдал лицензию Калужскому медико-техническому лазерному центру для повышения квалификации врачей и обучения младшего медицинского персонала по специализации «Лазерная медицина и техника» с выдачей свидетельства и допуска к работе с лазерами. К настоящему времени подготовлено более 3 500 таких специалистов. Выпущено более 20 учебных пособий, сборников научных трудов и научно-методических пособий.

Калужский медико-технический лазерный центр является составной частью Московского центра лазерных технологий, организованного МГТУ им. Н.Э. Баумана на базе современного промышленного предприятия «Трансмаш». Подготавливается государственная программа дальнейшего развития этого перспективного направления лазерной медицины.

Статья поступила в редакцию 11.09.2012