

## *Лекция 15*

# **ВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРЫ И ГЕНЕРАТОРЫ**

## **Вопросы:**

- 1. Принцип работы, виды и применение волоконных лазеров.**
- 2. Генерация суперконтинуума.  
Волоконные генераторы.**

**1961 г. – впервые высказана идея об использовании оптического волокна в качестве активной среды для генерации когерентного излучения (Э.Снитцер, США).**

***Волоконный лазер представляет собой оптический квантовый генератор, в котором активная среда и резонатор построены на базе оптического волокна.***

***Цельноволоконные (полностью волоконная реализация) и волоконно-дискретные (комбинированное использование волоконных и других элементов в конструкции) лазеры.***



Академик Александр Михайлович  
Прохоров (1916 – 2002)



Академик Евгений Михайлович  
Дианов (род. в 1936 г.)

## Состав волоконного лазера

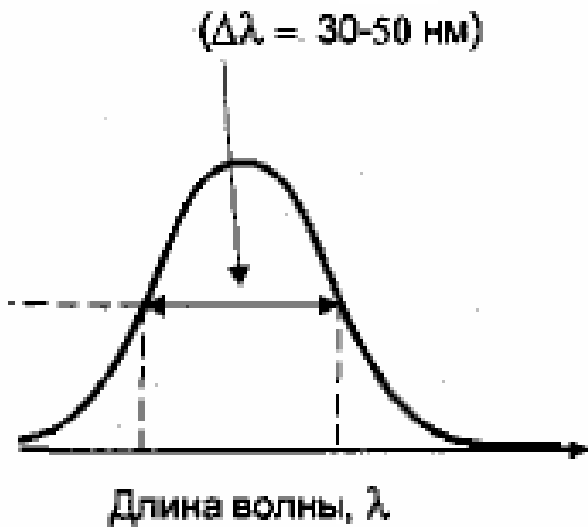
### **Волоконный лазер**

- *модуль накачки (на базе широкополосных светодиодов или лазерных диодов)*
- *активная среда (волоконный световод, легированный добавками)*
- *оптический резонатор*



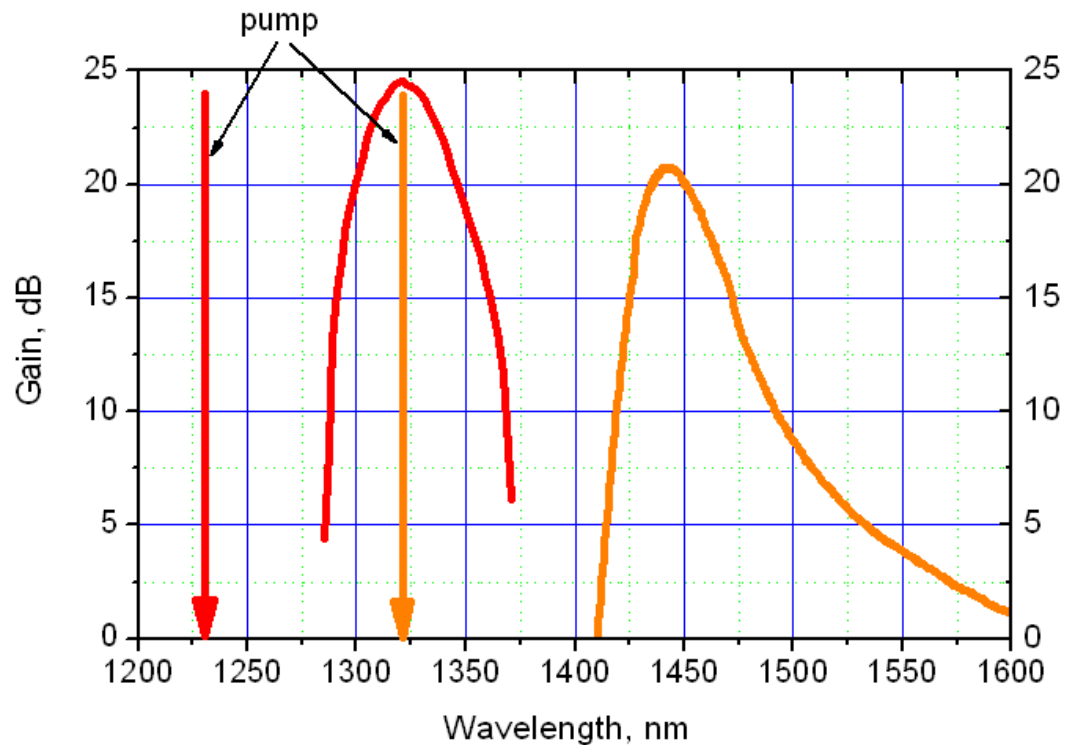
Схема непрерывного волоконного лазера

**Источник накачки:**  
*лазерный диод*  
(высокая яркость,  
долгоживучесть)



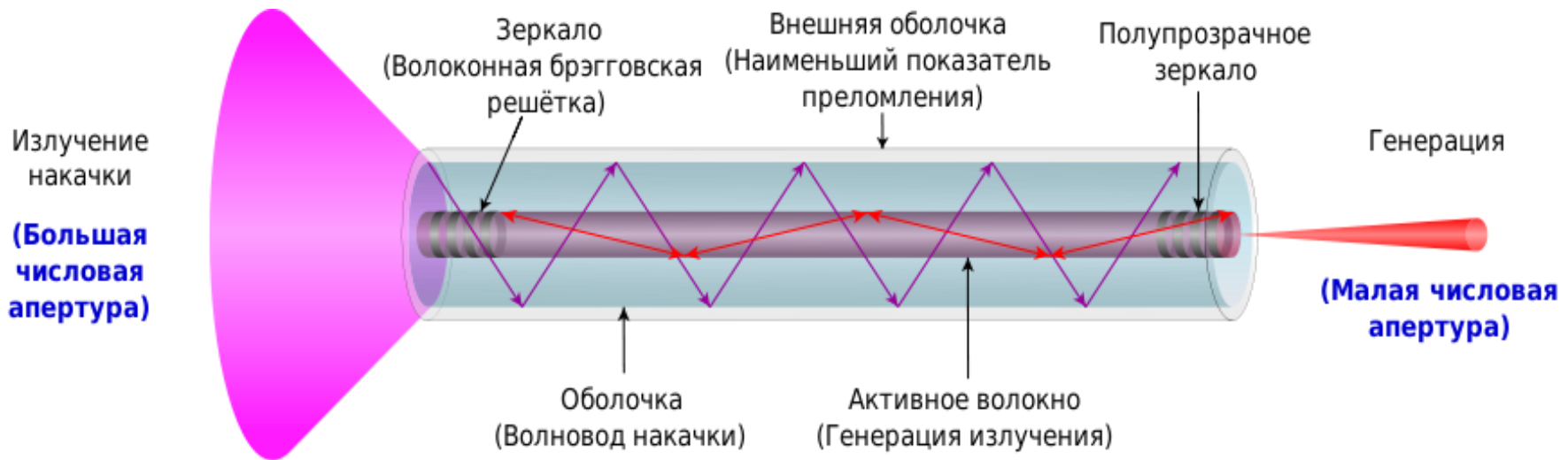
Спектр излучения  
лазерного диода

**Активная среда:** волокно, леги-  
рованное либо редкоземельными  
элементами из группы лантанои-  
дов (Nd, Yb, Er, Ho, Tm, Pr), либо ви-  
смутом Bi.



Спектр усиления волокна,  
легированного эрбием.

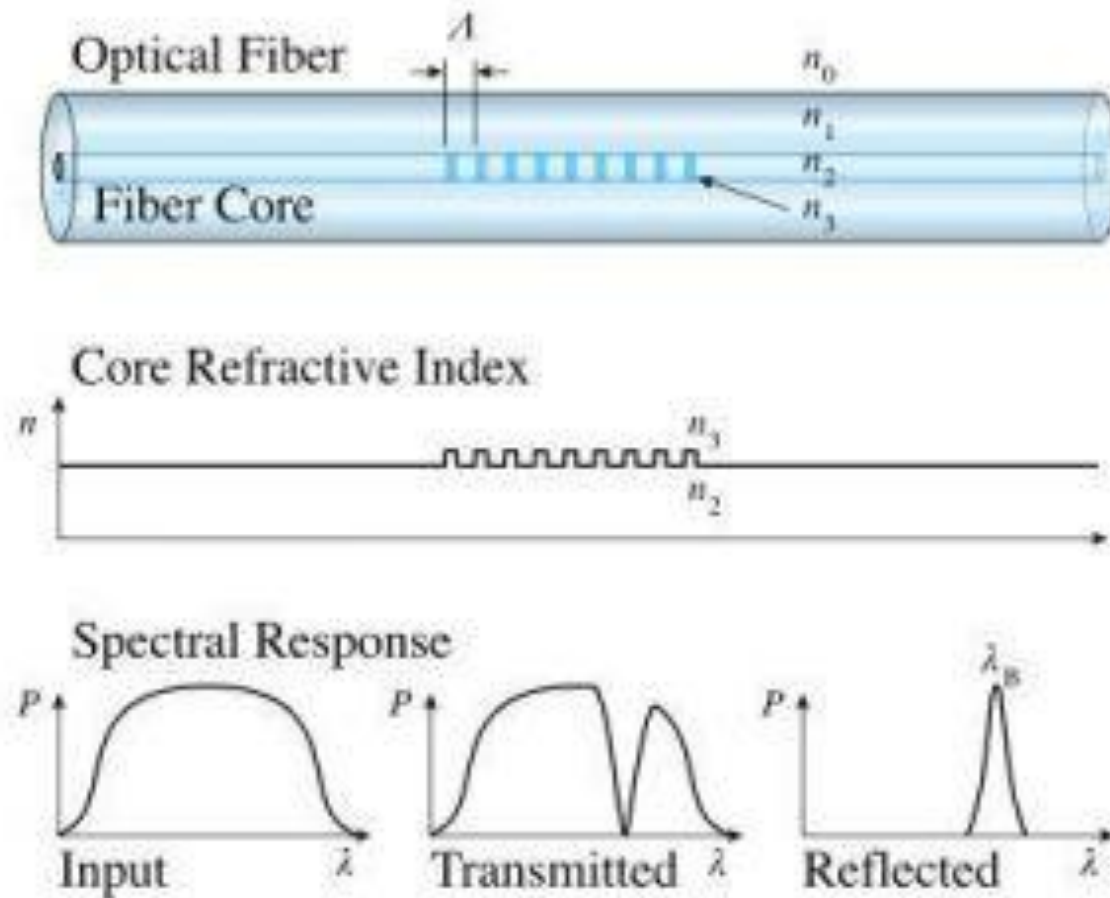
# Схема накачки волоконного лазера с двойным покрытием (double-clad fiber)



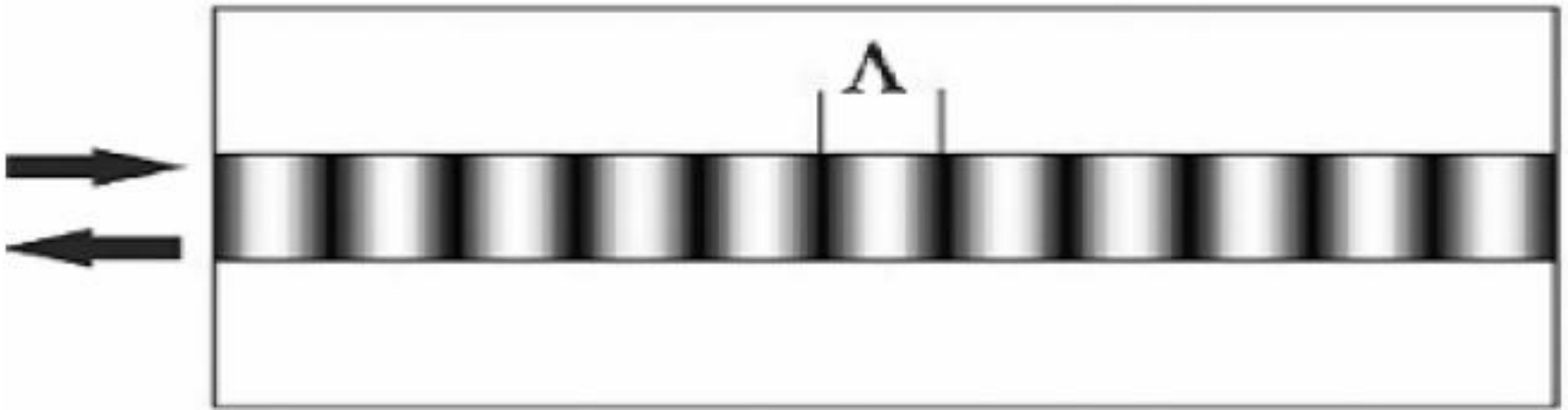
**Внутренняя оболочка изготавливается из чистого кварца и содержит волновод накачки, из которого поле проникает в активное волокно, а внешняя (защитная) оболочка – из полимерного материала с наименьшим показателем преломления.**

## Волоконные брэгговские решетки

Это периодические структуры с модулированным показателем преломления, «записываемые» в сердцевину волокна.



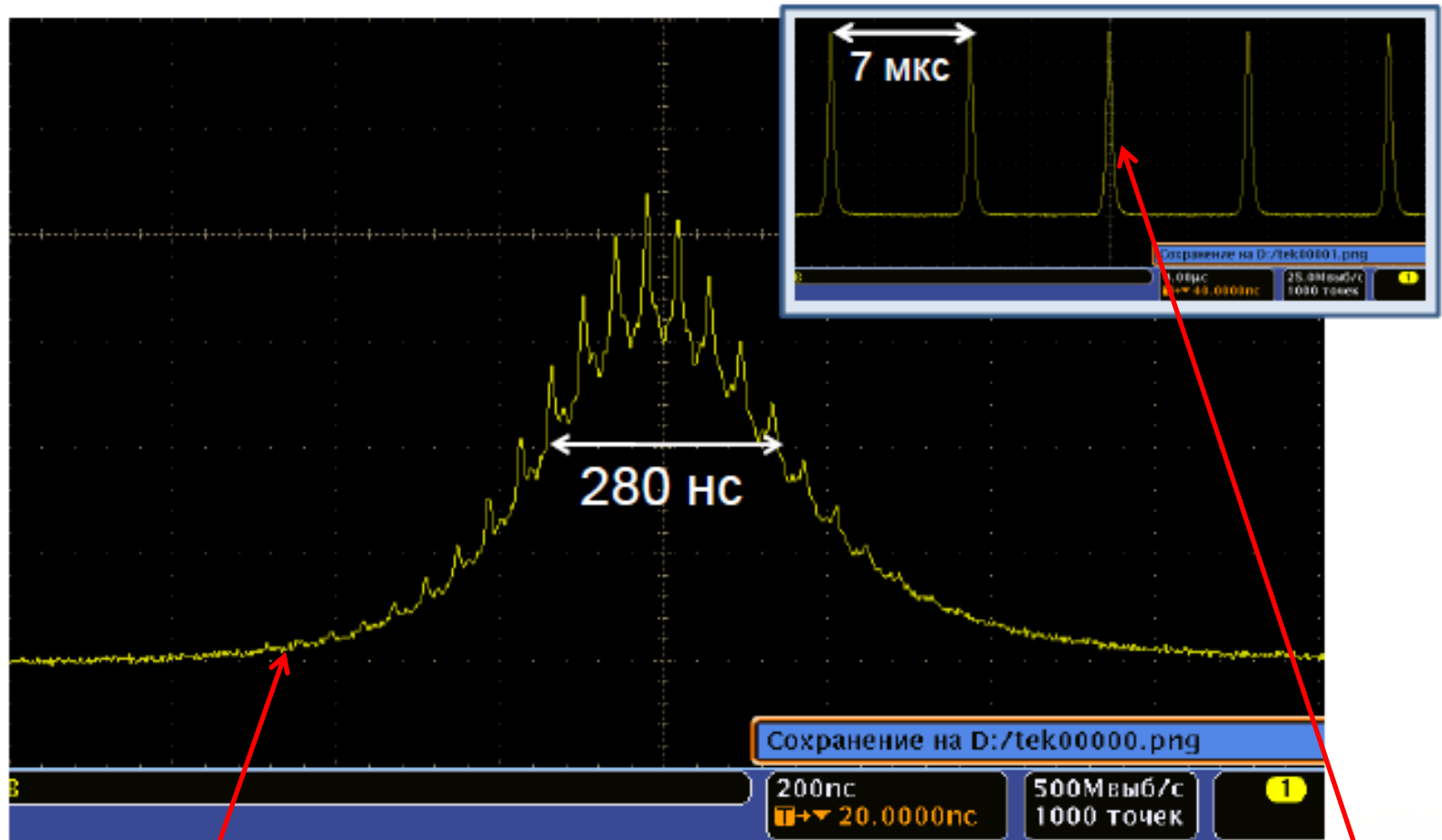
## Схема волоконного световода с брэгговской решеткой



$$2n_{\text{эфф}}\Lambda = m\lambda_{\text{в}} \quad (m = 1)$$

– условие брэгговского отражения.

# Параметры импульсов волоконного лазера с двойным покрытием



Импульс накачки

Выходные импульсы



## Преимущества волоконных лазеров

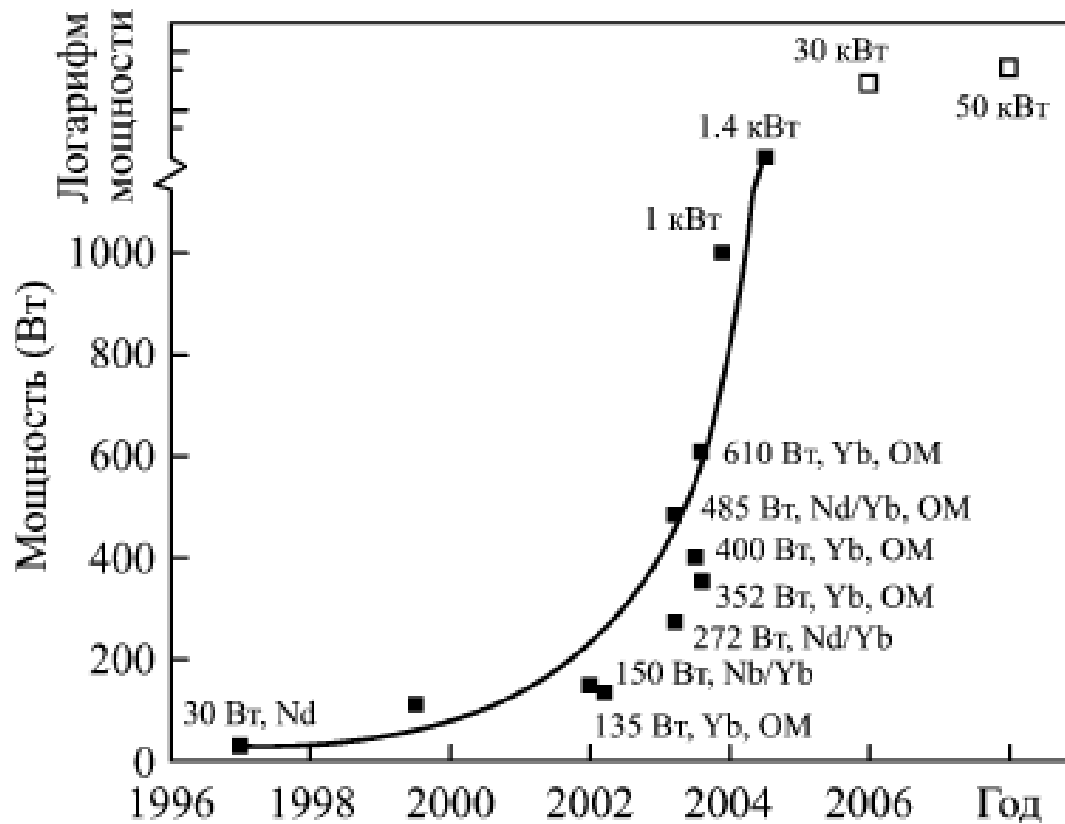
- **Высокий КПД (более 30%);**
- **высокое качество пучка;**
- **надежность и простота в эксплуатации;**
- **малые размеры и вес, отсюда мобильность таких лазеров;**
- **более высокая скорость обработки материалов по сравнению с СО<sub>2</sub>-лазерами.**



*Промышленный  
волоконный лазер  
серии ЛК.*

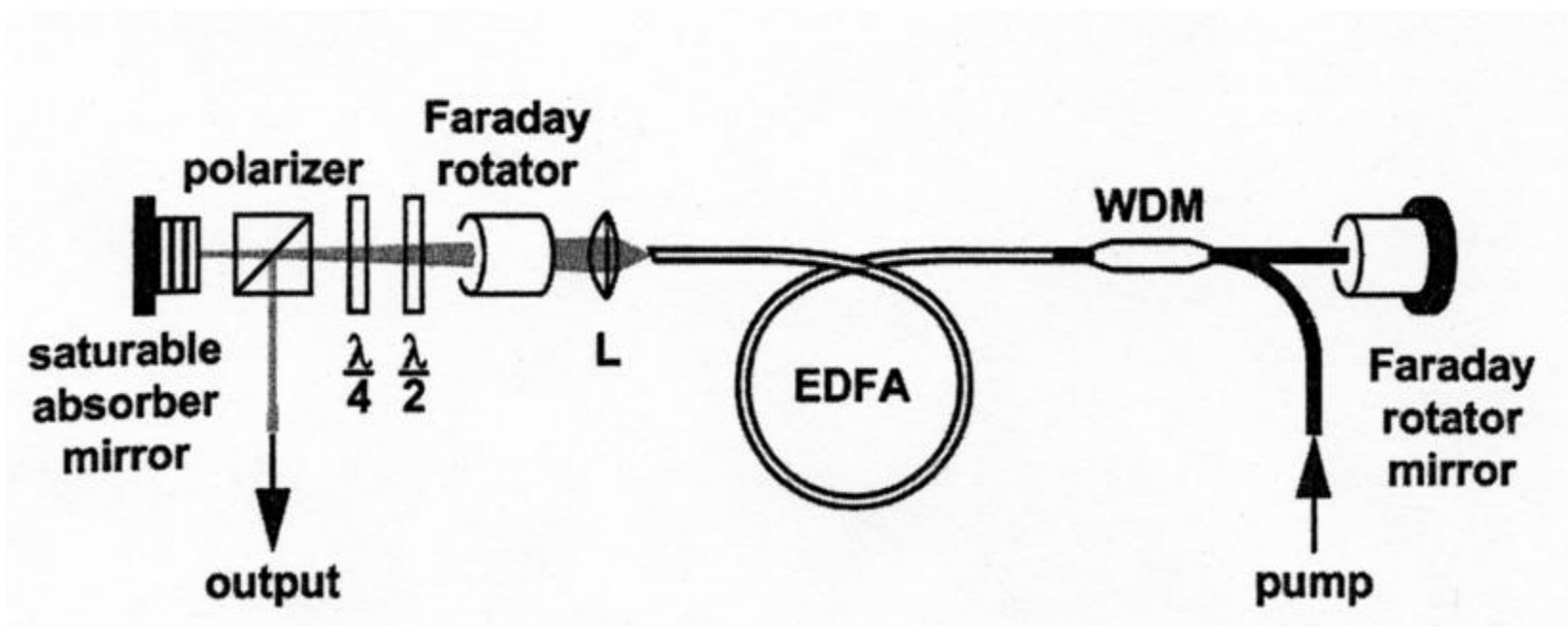
**Рынок волоконных лазеров в 2007 году –  
240 миллионов долларов США,  
за 5 лет ожидается удвоение рынка.**

# Рост выходной мощности непрерывных волоконных лазеров



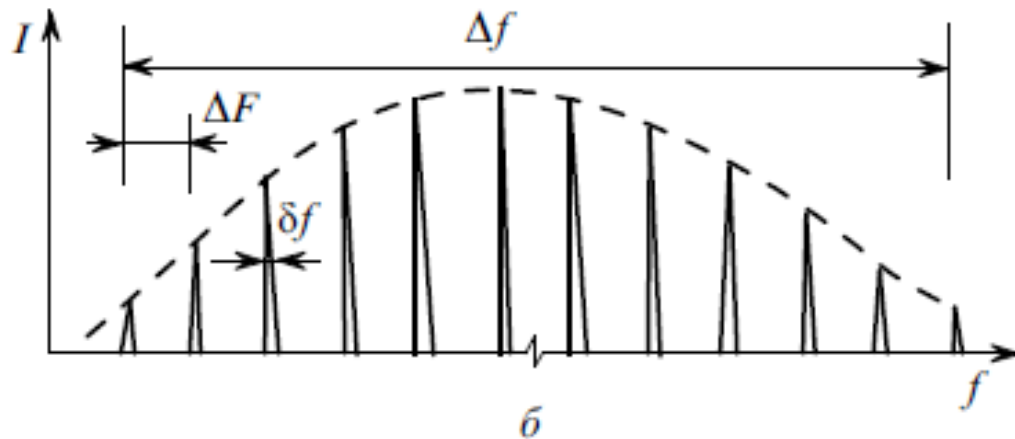
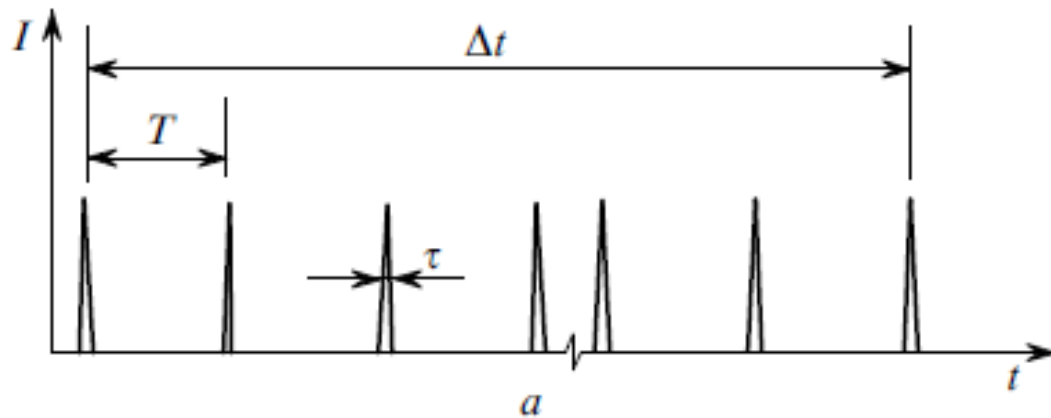
Промышленные волоконные  
Yb-лазеры серии ЛС

# Схема фемтосекундного эрбиевого волоконного лазера



$$\tau_{\min} = 4.3 \text{ фс}, \lambda = 1.55 \text{ мкм}$$

# Зависимость интенсивности фемтосекундных импульсов от времени и частоты

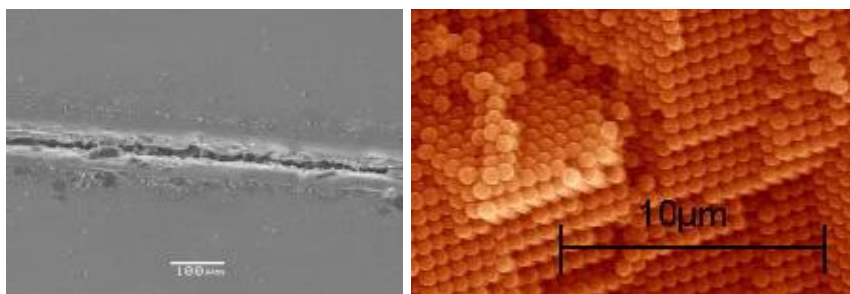


$\tau$  – длительность импульса;  $\Delta t$  – длительность последовательности импульсов;

$\delta f = \frac{1}{\Delta t}$  – ширина линии;  $\Delta F = \frac{1}{T}$  – частота повторения импульсов.

# Применение фемтосекундных волоконных лазеров

**Прецизионная обработка  
различных материалов,  
создание разнообразных  
микро- и наноструктур**



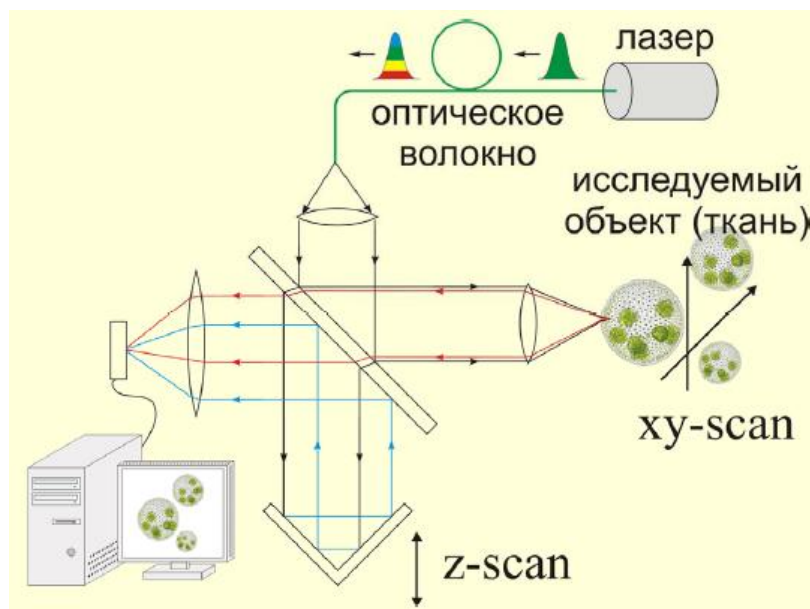
**Телекоммуникации (передача  
больших объёмов данных)**

**Оптическая когерентная  
томография**

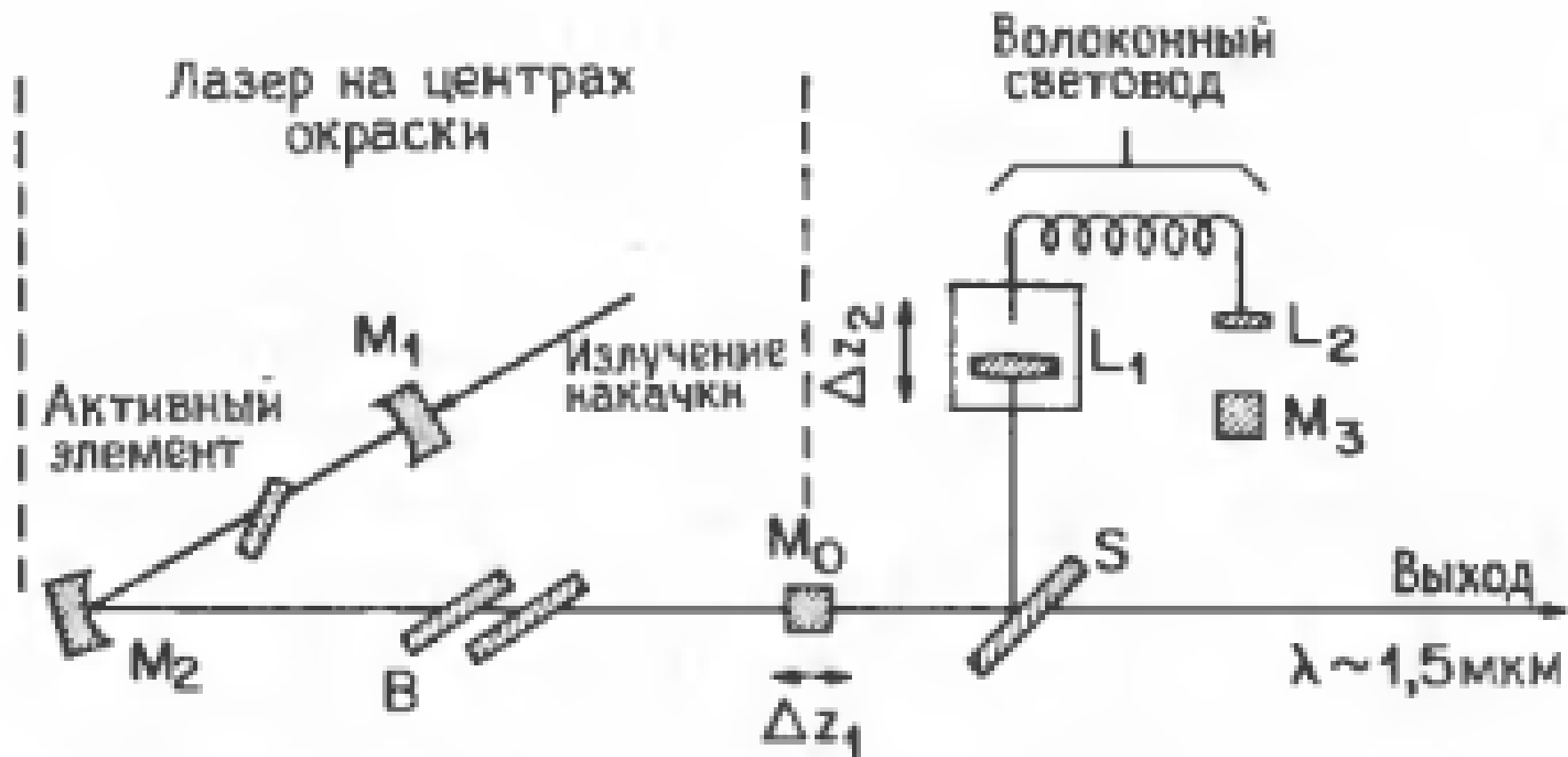
**Создание прецизионных и  
компактных оптических  
часов и стандартов частоты**

**Волоконно-оптические  
гироскопы**

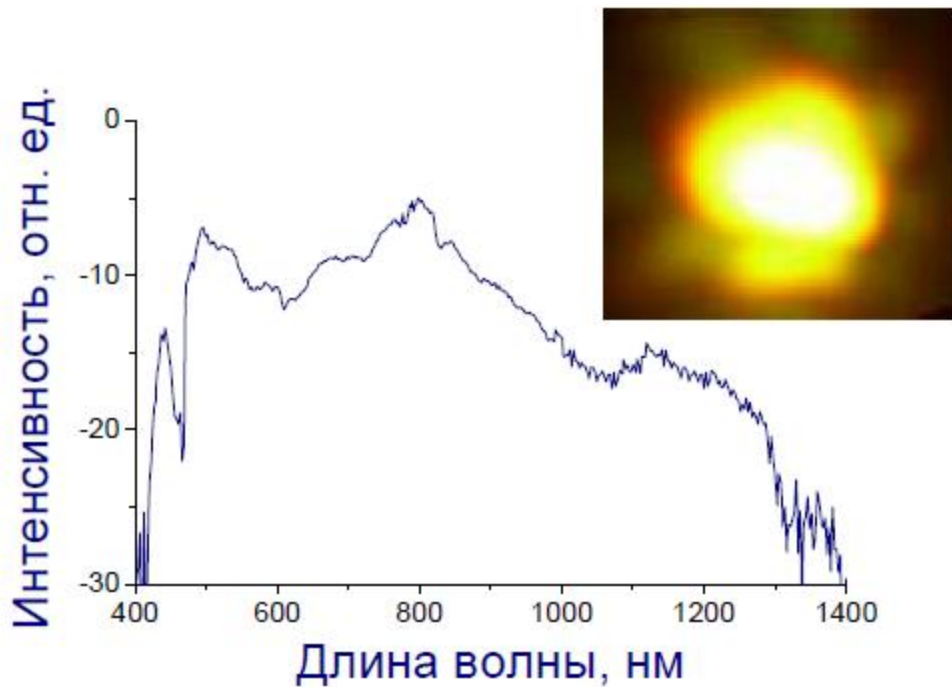
**Ускорение электронов  
нелинейными плазменными  
волнами до высоких энергий**



## Схема солитонного лазера



## Излучение суперконтинуума

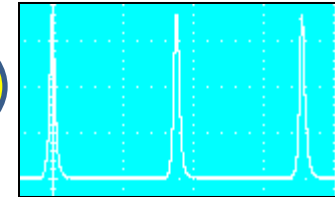


*Суперконтинуум (искусственный белый свет) – это искусственно генерируемое широкополосное излучение с регулируемыми спектральными, временными и фазовыми характеристиками.*

**По своей спектрально-угловой яркости и интенсивности генерируемый лазерами суперконтинуум ~ в миллионы раз превышает естественный белый свет.**

# Физический принцип генерации суперконтинуума

**Фемтосекундный  
волоконный лазер**



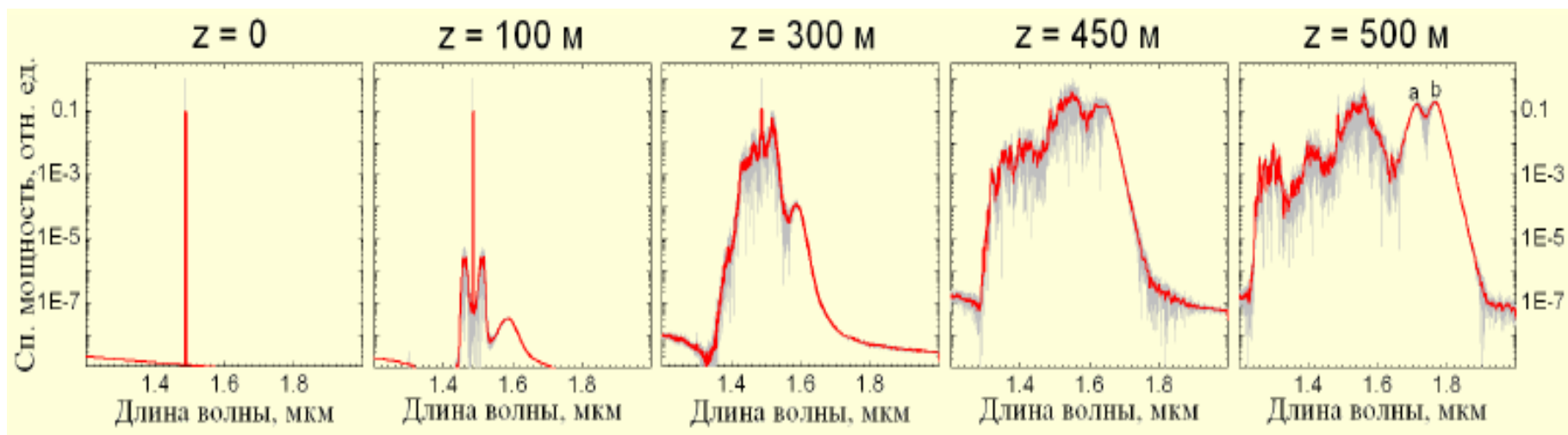
**Система с высокой нелинейностью, осуществляющая  
нелинейно-оптическое преобразование (например, фотонно-  
кристаллический волоконный световод)**

**Появление за счет ВКР, ЧВС новых спектральных  
компонент лазерного импульса, которые затем  
уширяются за счет ФСМ и ФКМ  
и сливаются друг с другом**

**Генерация излучения с широким  
непрерывным спектром на выходе волокна**

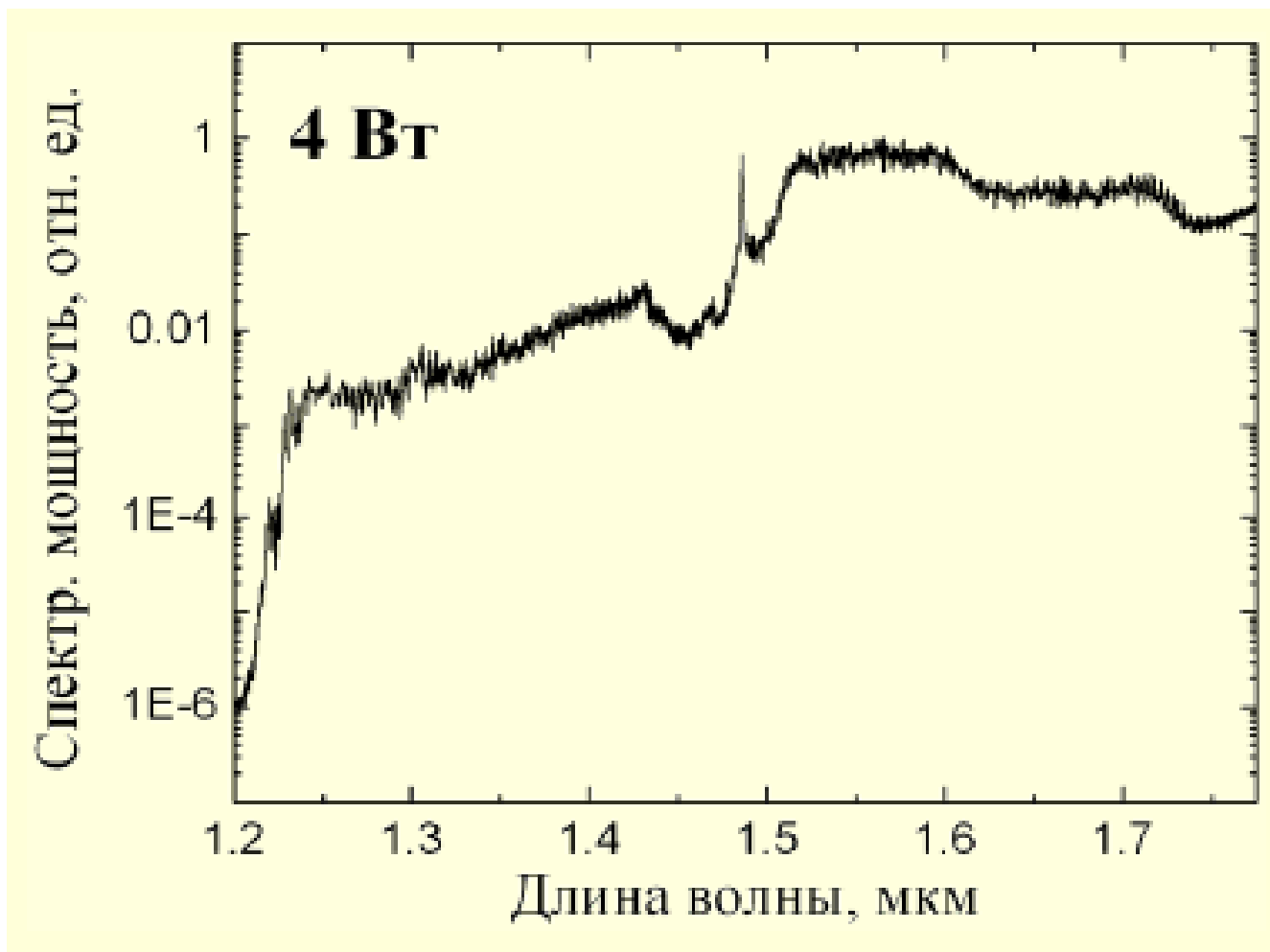


# Непрерывное возбуждение в области аномальной дисперсии волокна (эксперимент)

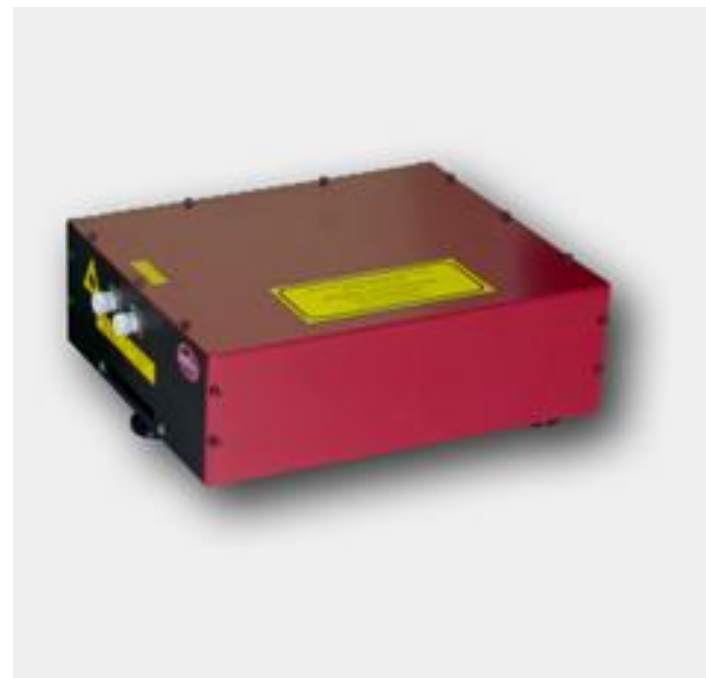
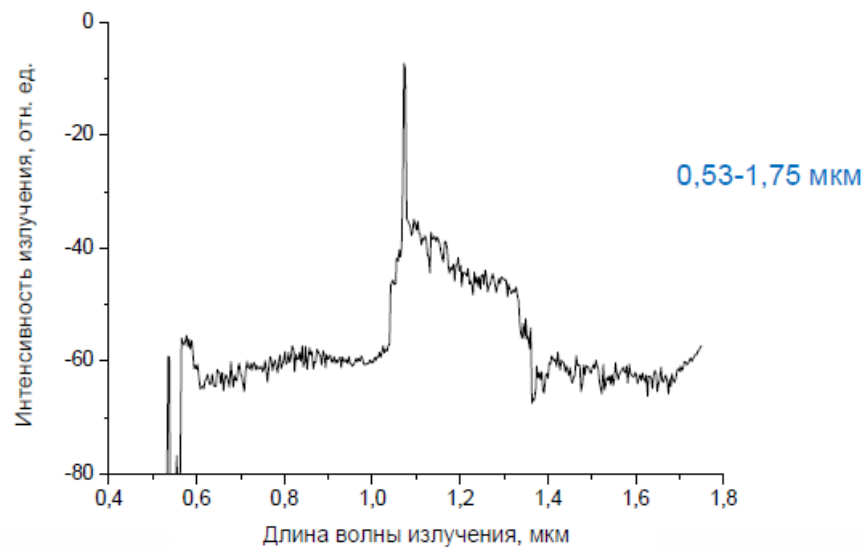


**$z$  — длина нелинейного волокна.**

# Результаты численного моделирования генерации суперконтинуума



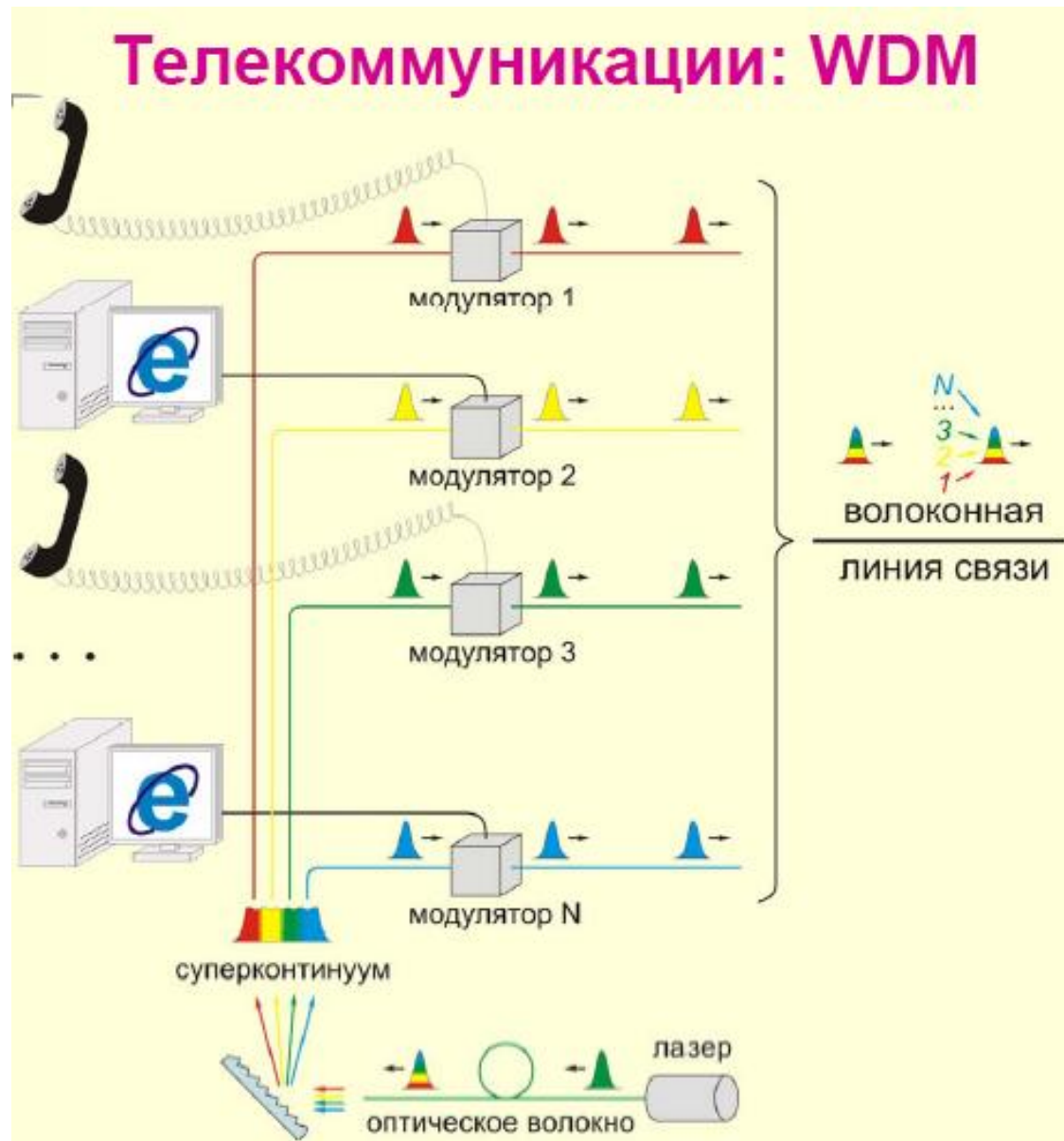
# Конструктивное исполнение



Генератор суперконтинуума EFOA-UB

<b>Ср. выходная мощность, мВт</b>	<b>&gt;150</b>
<b>Частота повторения, МГц</b>	<b>50-70</b>

# Пример использования излучения суперконтинуума



# Применение генераторов суперконтинуума

	Импульсная накачка	Непрерывная накачка
Измерение оптических частот	$\beta_2 < 0$	-
Оптические часы	$\beta_2 < 0$	-
Томография	+	+
WDM	$\beta_2 > 0$	-
ВКР-усилители	+	+
Генерация УКИ	+	-
Спектроскопия с временным разрешением	+	-