

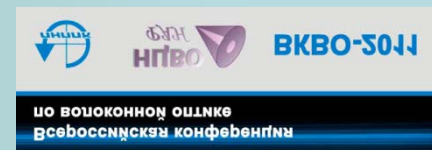
# ГЕНЕРАЦИЯ СУПЕРКОНТИНУУМА СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА В СТАНДАРТНЫХ И АКТИВНЫХ ВОЛОКНАХ

**Курков А.С., Камынин В.А., Шолохов Е.М.**

*Институт общей физики им.  
А.М.Прохорова РАН, Москва*

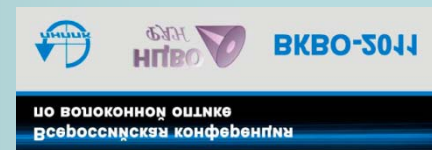
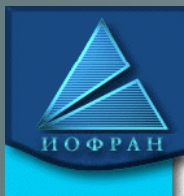
**Маракулин А.В.**

*Российский федеральный ядерный центр  
ВНИИТФ, Снежинск*

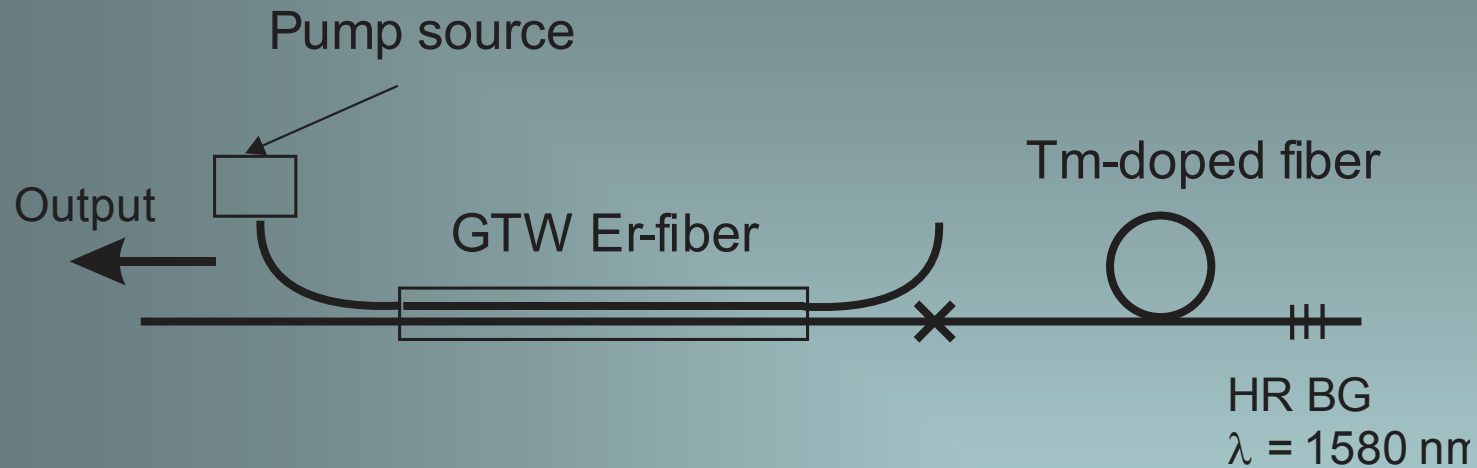


# Цель работы

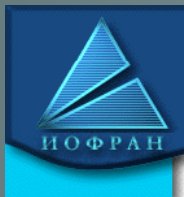
- Генерация суперконтинуума при накачке мощным Er-лазером в режиме модуляции добротности
- Оценка длинноволновой границы суперконтинуума в кварцевых волокнах.



# Схема лазера



A.S. Kurkov, Ya.E. Sadovnikova, A.V. Marakulin,  
and E.M. Sholokhov. Laser Physics Letters, **7**, 795 (2010)



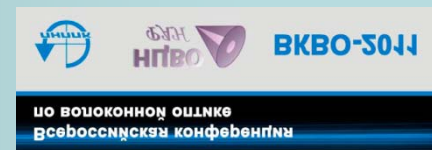
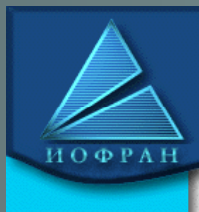
# Er-волокно

$N \sim 3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ,  $\alpha(975 \text{ нм}) \sim 1 \text{ дБ/м}$ ,  $L - 8-10 \text{ м}$

$2a=20 \text{ мкм}$ ,  $\Delta n \sim 0.01$

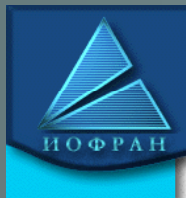
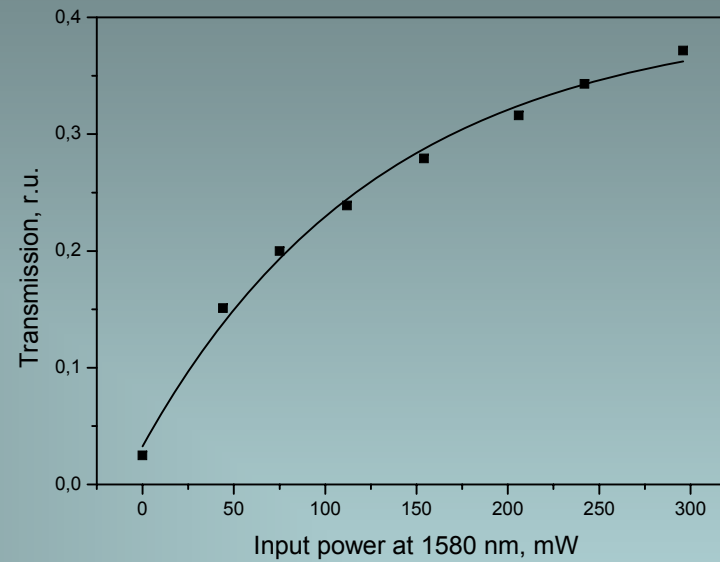
A.S. Kurkov, V.M. Paramonov, M.V.Yashkov, S.E. Goncharov, and I.D. Zalevskii, Quantum Electron. 37, 343 (2007).

A.V. Ivanenko, S.M. Kobtsev, S.V. Kukarin, and A.S. Kurkov, Laser Phys. 20, 341 (2010).

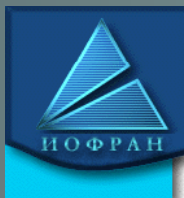
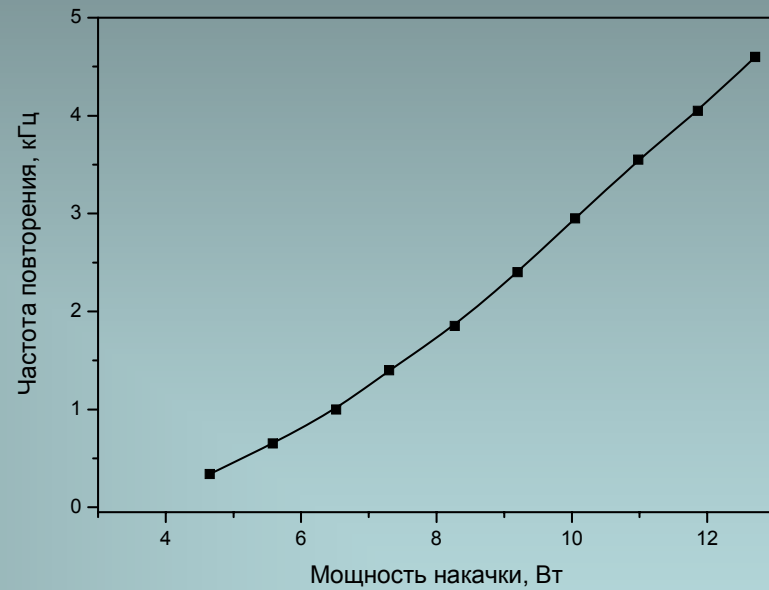
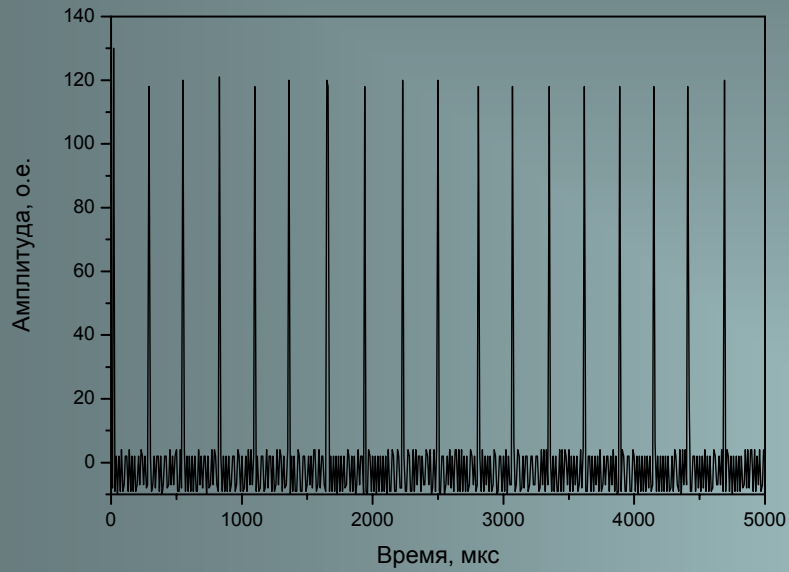


# Tm-волокно

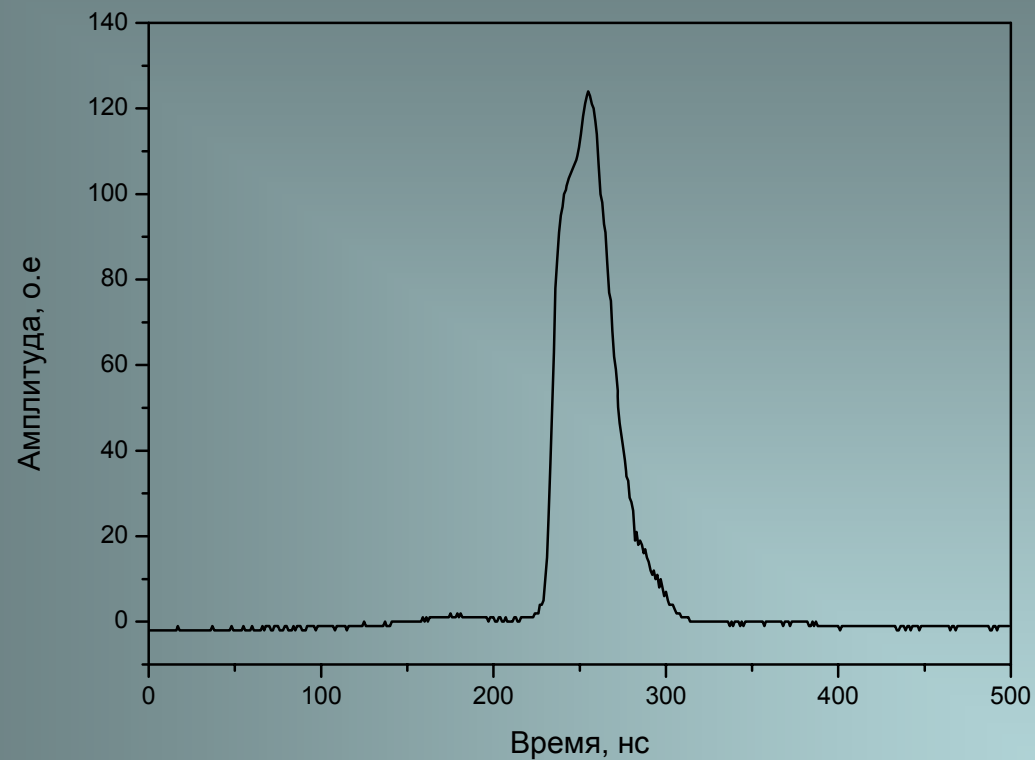
$N \sim 2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ,  
 $\alpha(1580 \text{ нм}) \sim 150 \text{ дБ/м}$   
 $k \sim 20\%$   
 $L - 6 \text{ см}$



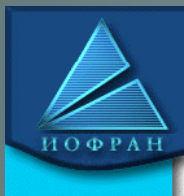
# Импульсная генерация



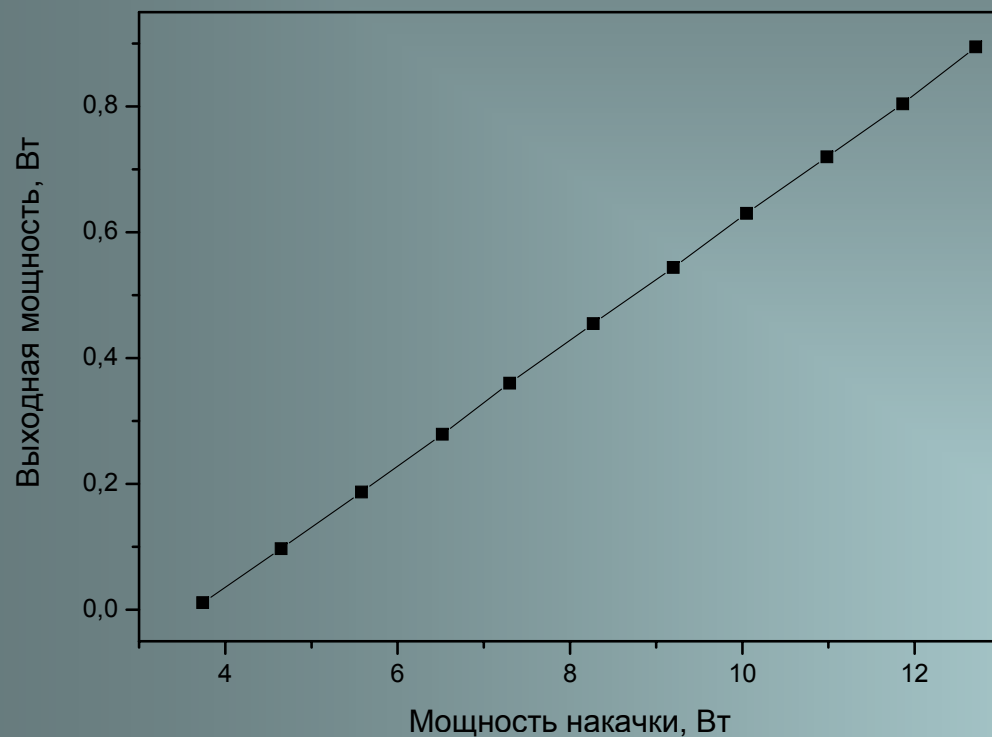
# Длительность импульса



$\Delta\tau \sim 35$  нс



# Энергетические характеристики

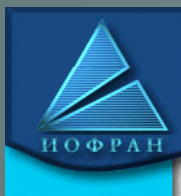


Диф. эффективность  $\sim 10\%$

$\Delta\tau \sim 35$  нс

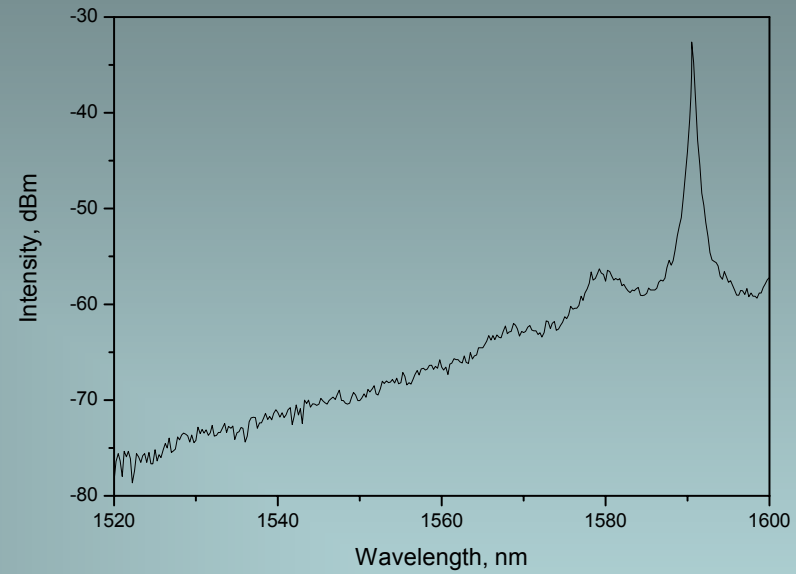
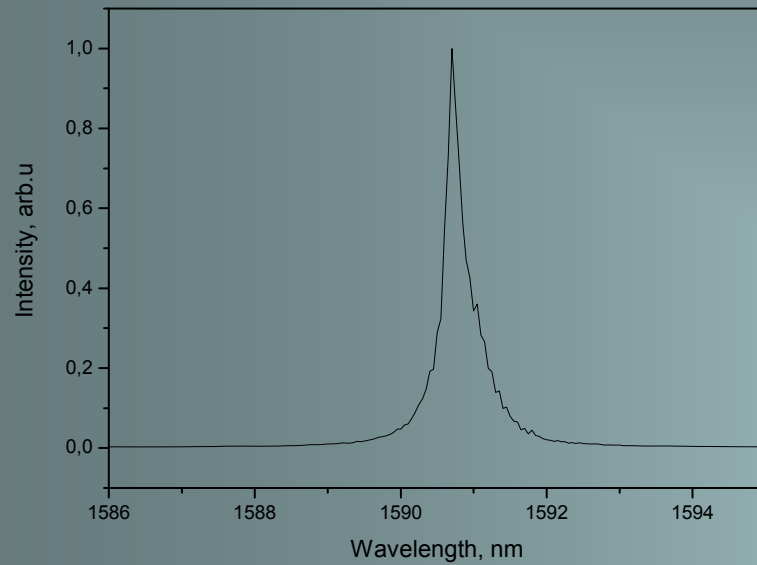
$E \sim 200$  мкДж

$P_p \sim 5.7$  кВт





# Спектр генерации

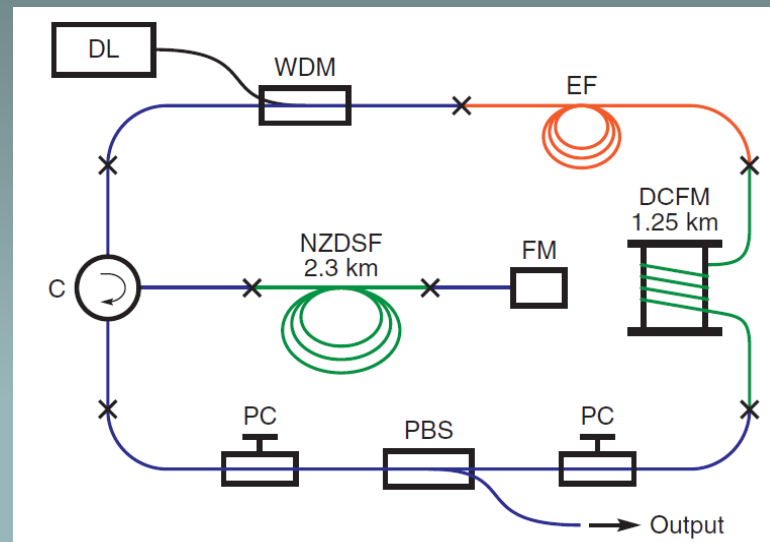


$\Delta\lambda$  - 0.3 nm, resolution – 0.1 nm



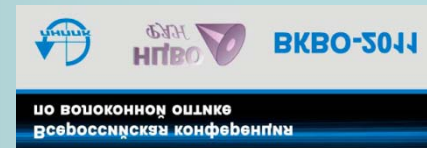
# Лазер с пассивной синхронизацией мод

$\Delta\tau \sim 13$  нс  
 $E \sim 1.7$  мкДж  
 $P_p \sim 130$  Вт  
 $\nu = 35$  кГц



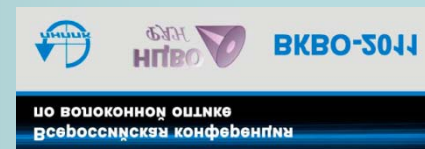
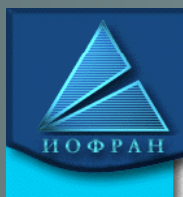
**Figure 1** (online color at [www.lphys.org](http://www.lphys.org)) Schematic of the laser: DL – pumping diode laser, WDM – wavelength-division multiplexer, EF – erbium-doped fiber, DCFM – dispersion compensating fiber module, PC – polarization controller, PBS – polarizing beam-splitter, C – circulator, NZDSF – non-zero dispersion-shifted fiber, and FM – Faraday mirror

*B.N. Nyushkov, V.I. Denisov, S.M. Kobtsev, V.S. Pivtsov, N.A. Kolyada, A.V. Ivanenko, and S.K. Turitsyn, Laser Phys. Letters 7,661 (2010)*

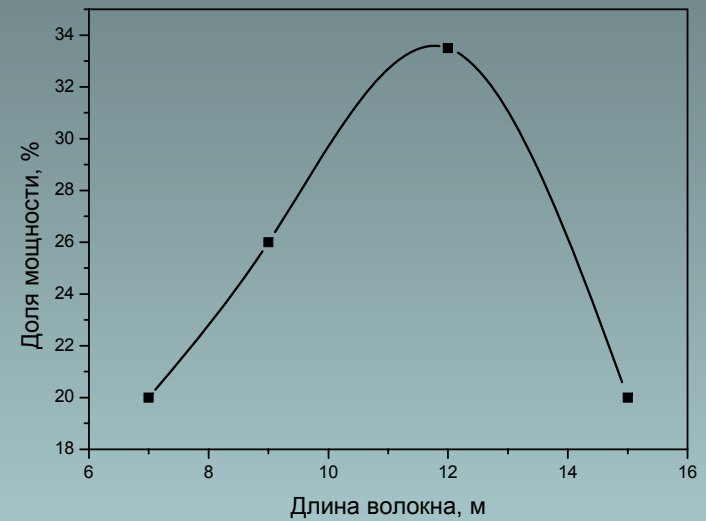
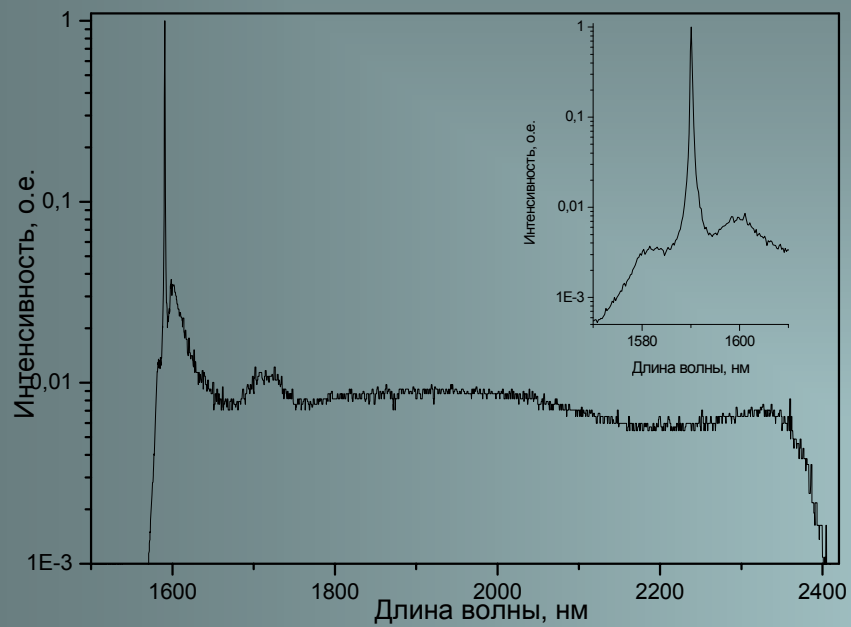


# Исследованные волокна

Тип волокна	Диаметр поля моды, мкм	Дисперсия, пс/нм·км	Длина, м	Средняя мощность, мВт	Доля мощности в области 2- 2,4 мкм, %
SM332	11	20	12	480	33,5
LEAF	9.5	7	7	480	29,9
Много- модовое	50*	-----	20	850	38

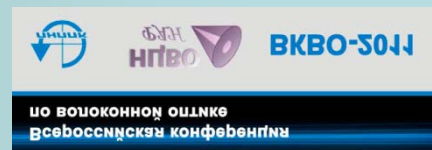


# SM-332

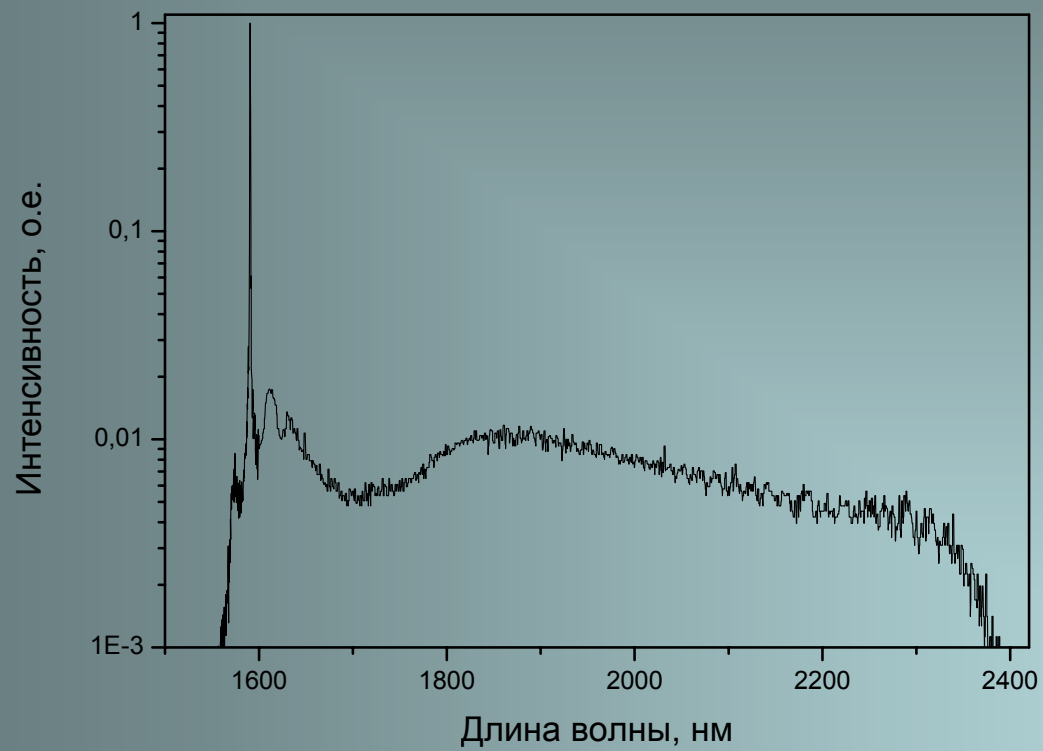


$P=480$  мВт

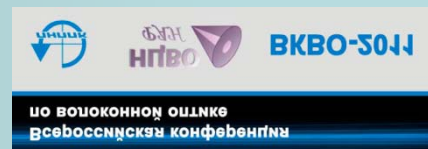
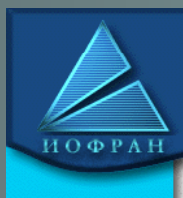
$\lambda > 2$  мкм - 33.5%



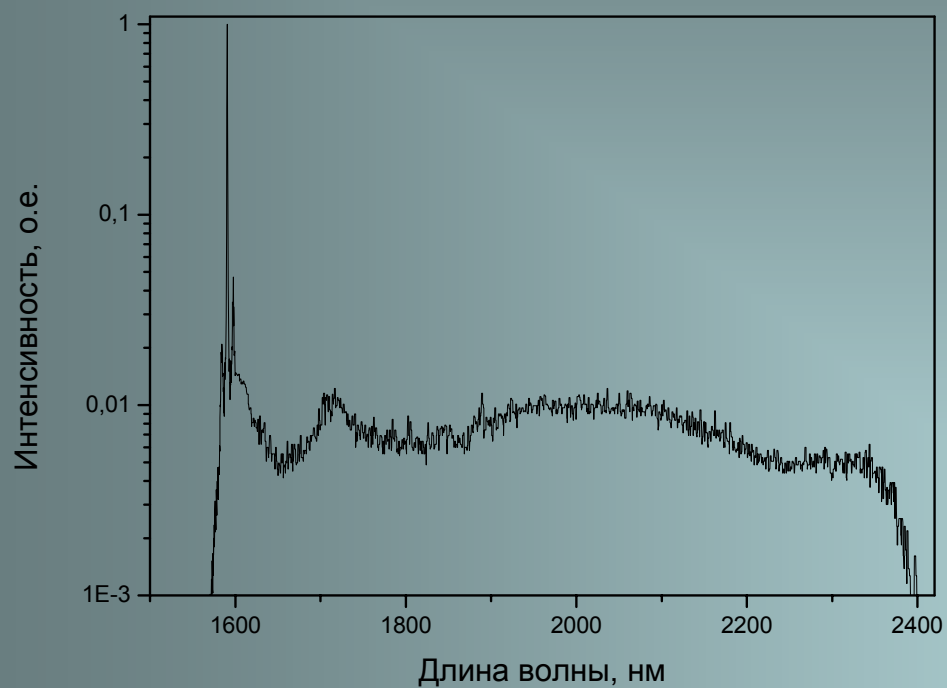
# LEAF



$L = 7$  м  
 $P = 480$  мВт  
 $\lambda > 2$  мкм - 30%



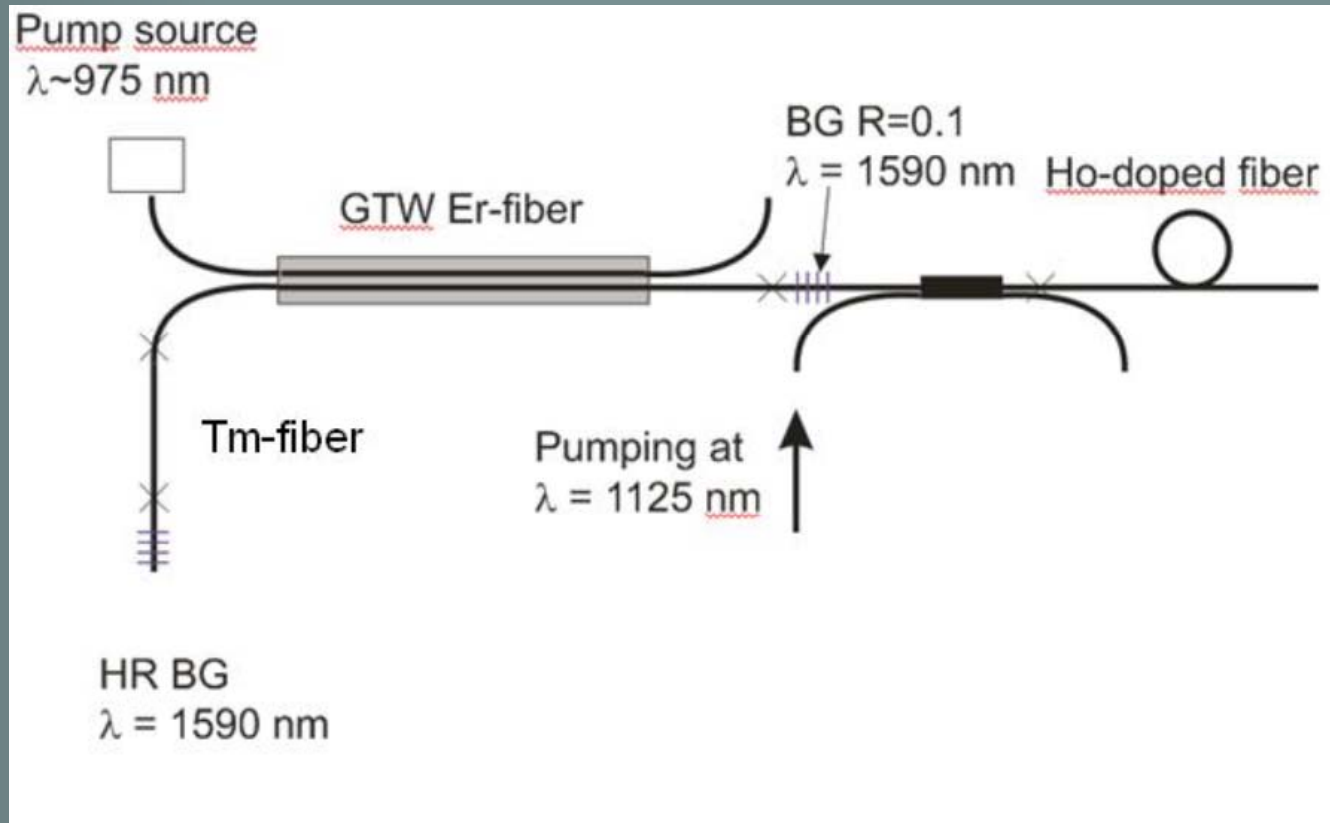
# МНОГОМОДОВОЕ ВОЛОКНО



L=20 м  
P=850 мВт  
 $\lambda > 2$  мкм - 38 %



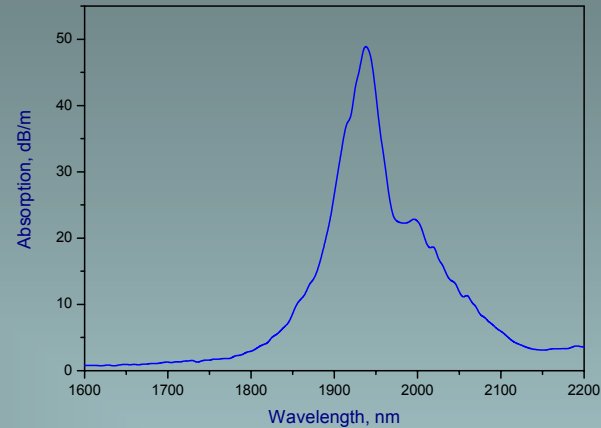
# Генерация суперконтинуума в Ho-усилителе



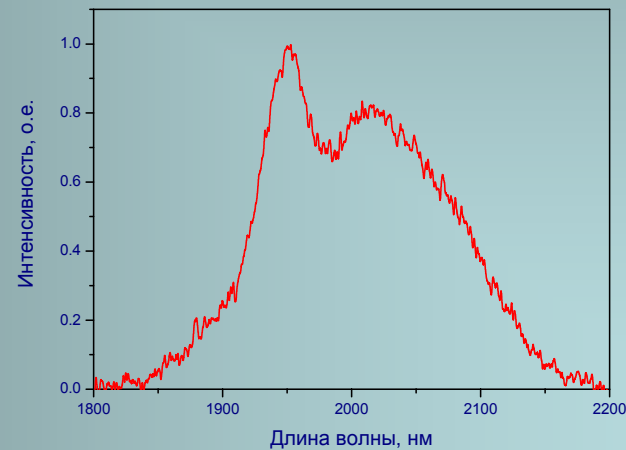
# Гольмиевые волокна

Образец 1  
 $N=1.6 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ .  
 $L = 10 \text{ м}$

Образец 2  
 $N=9 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ .  
 $L = 2 \text{ м}$

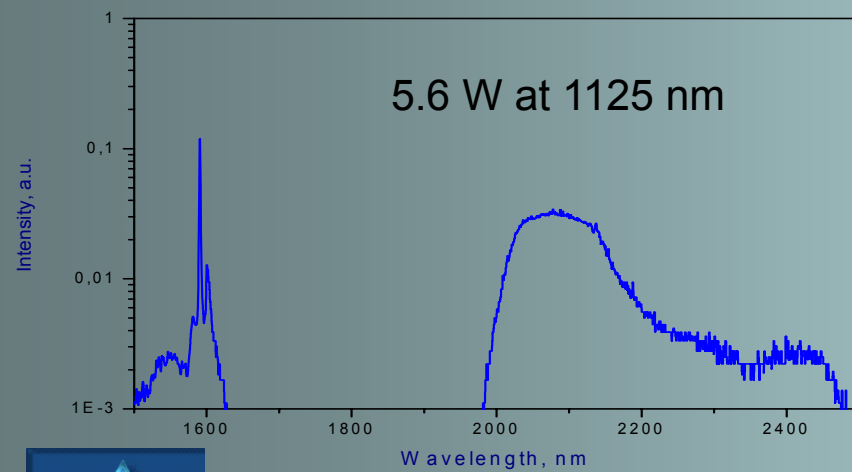
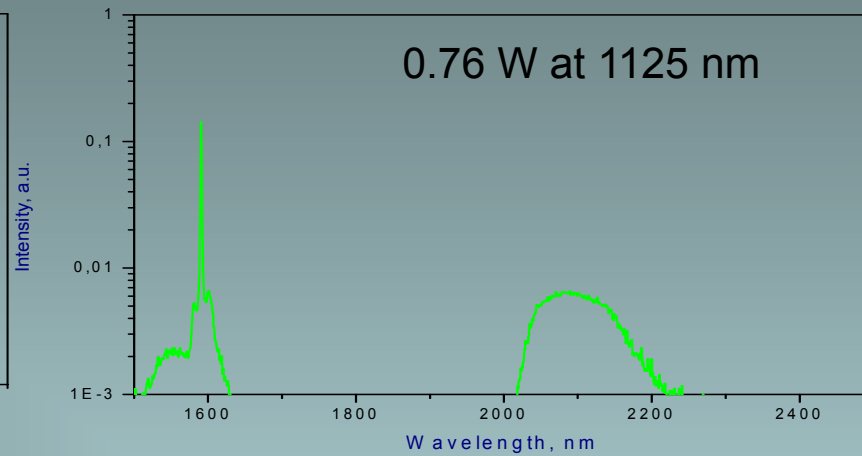
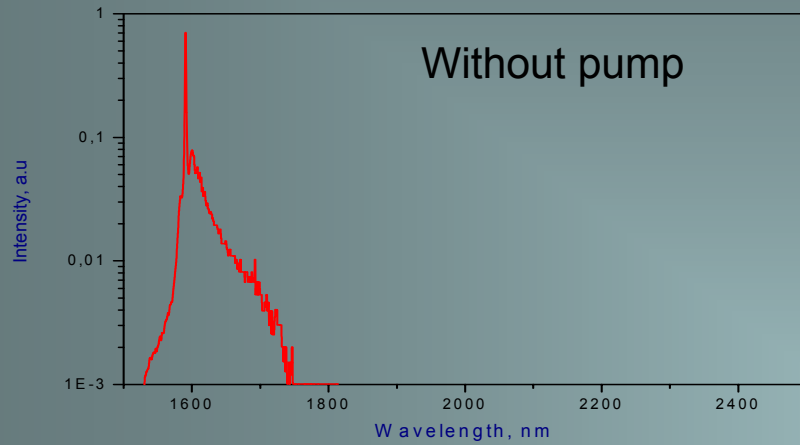


Образец 2

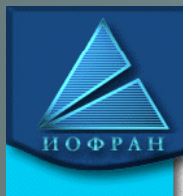




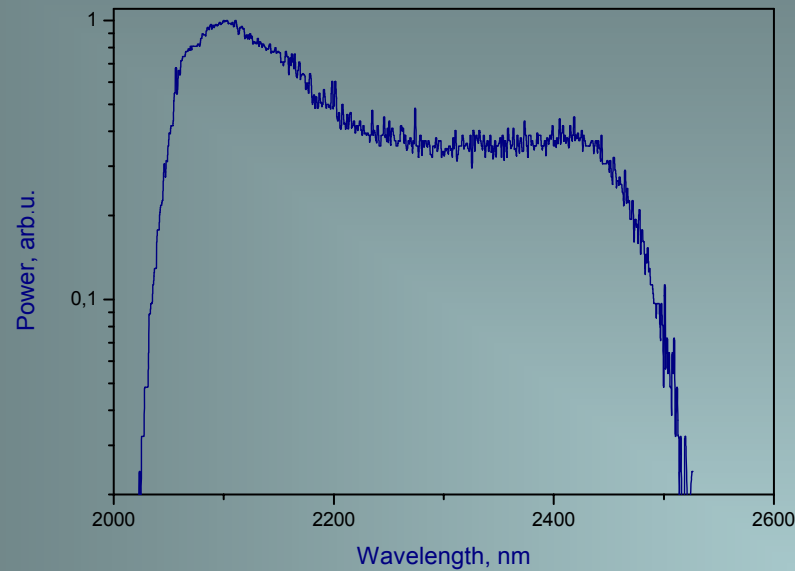
# Образец 1



$$P_{av} = 400 \text{ mW}$$

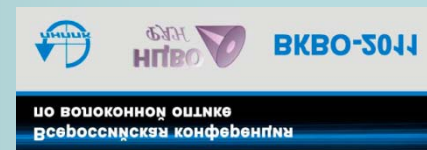


# Образец 2



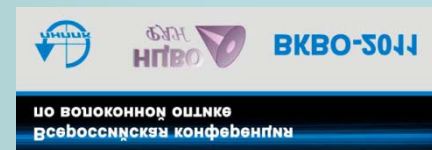
$$P_{av} = 350 \text{ mW}$$

A.S. Kurkov, V.A. Kamynin, E.M. Sholokhov, and A.V. Marakulin  
Laser Physics Letters, **8**, 754 (2011)



# Выводы

- Предложена и реализована простая и эффективная схема эрбиевого волоконного лазера с пассивной модуляцией добротности
- Получена генерации суперконтинуума в телекоммуникационных волокнах в диапазоне 1500-2400 нм
- Впервые продемонстрирована генерация суперконтинуума в диапазоне 2-2.5 мкм в гольмиевом волоконном усилителе



*Спасибо за внимание!*

