

*Усиление солитонов управляемых  
дисперсией в тулиевоом волоконном  
лазере с пассивной синхронизацией  
мод*

**Чернышева М.А., Крылов А.А.,  
Тупицын И.М., Крюков П.Г., Дианов Е.М.**



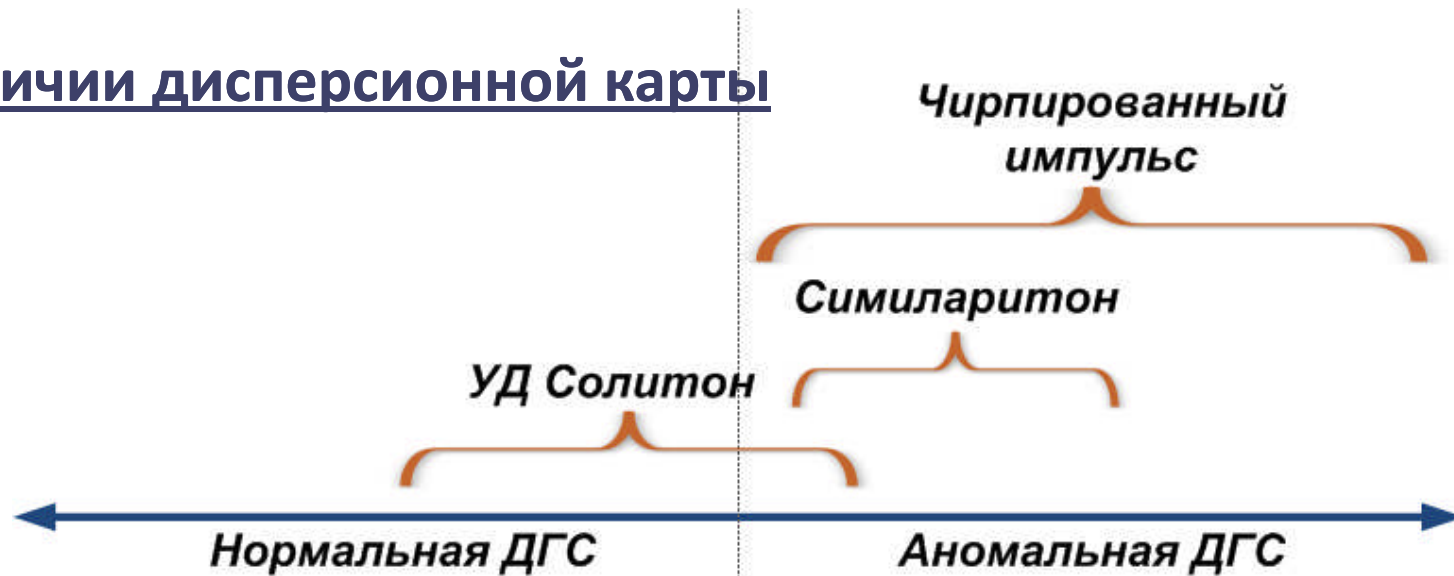
## План доклада

- Режимы генерации ультракоротких импульсов в зависимости от типа дисперсии в резонаторе лазера
- Тулиевый волоконный лазер с пассивной синхронизацией мод работающий в режиме генерации солитонов, управляемых дисперсией
- Одно- и двухкаскадный волоконный усилитель на основе МПО-волокна, легированного тулием и иттербием

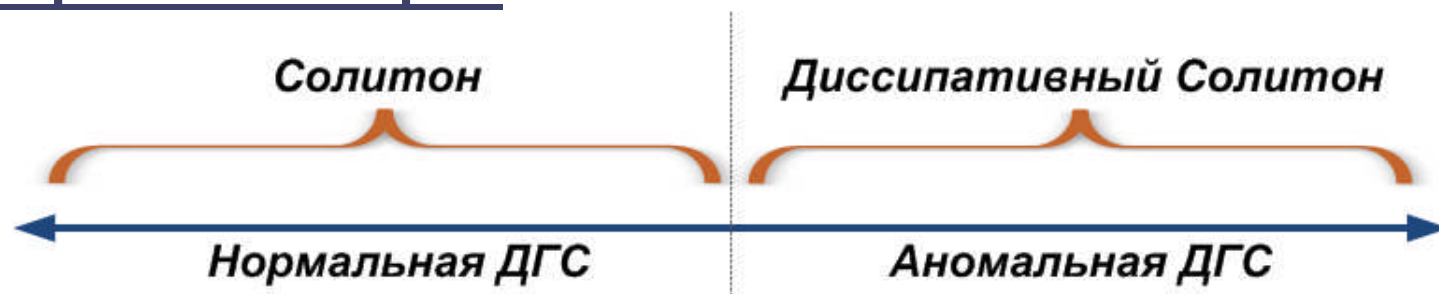


# Режимы работы лазера в зависимости от общей дисперсии и наличия дисперсионной карты

## При наличии дисперсионной карты



## Без дисперсионной карты



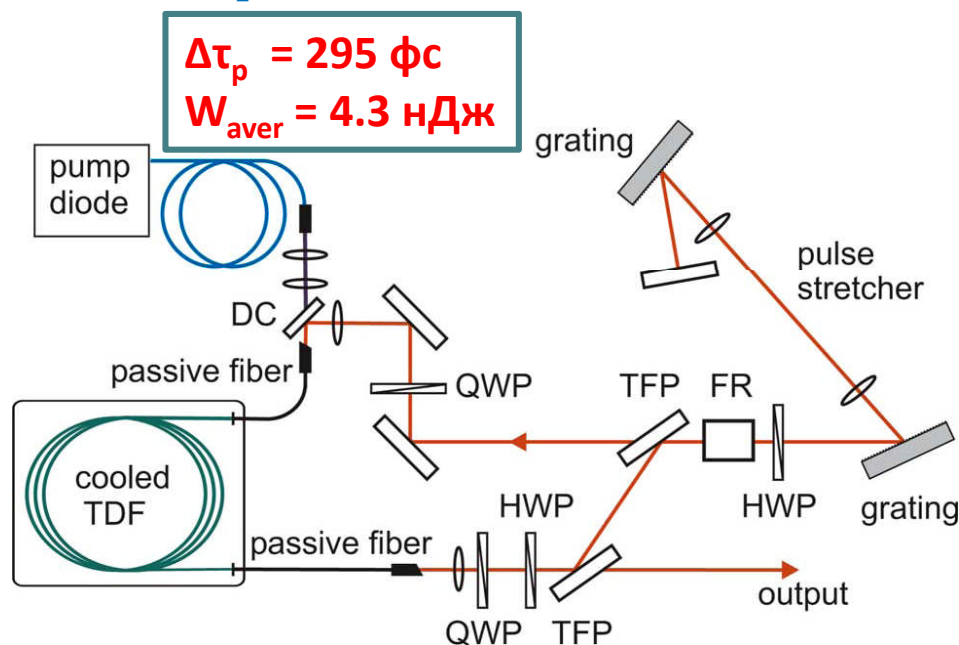
## Сравнение режимов генерации солитонов и солитонов, управляемых дисперсией солитонов

Солитон	УД солитон
Ограничение энергии до десятков пикоджоулей	Увеличение энергии импульса при заданном значении дисперсии среды
Нестабильность при приближении к нулю суммарной дисперсии	Стабильное распространение в среде с нулевой и даже положительной дисперсией
Квантование энергии солитона при определенных длинах резонатора	Подавление временного джиттера и четырехволнового смешения

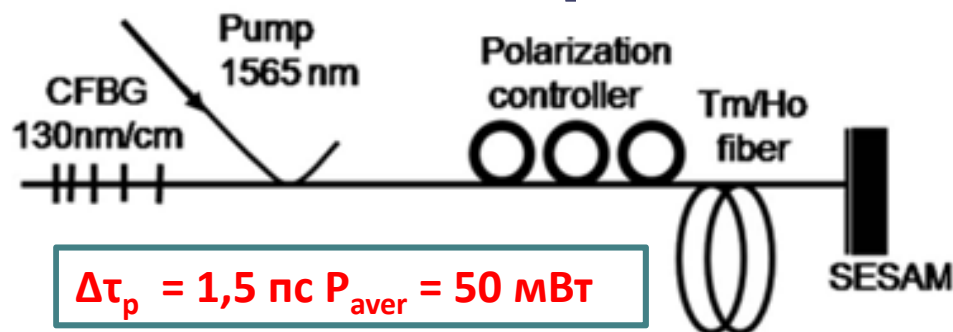


# Способы реализации режима генерации солитонов, управляемых дисперсией

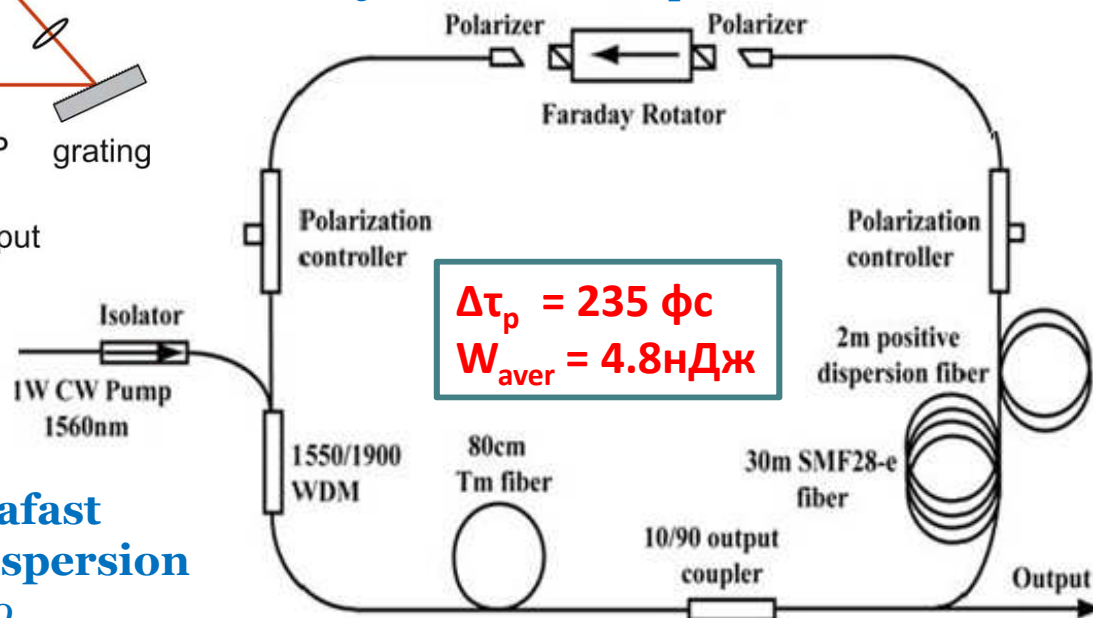
Ref. M.Engelbrecht et al. "Ultrafast thulium-doped fiber-oscillator with pulse energy of 4.3 nJ", *Opt. Lett.* **33**(7), (2008)



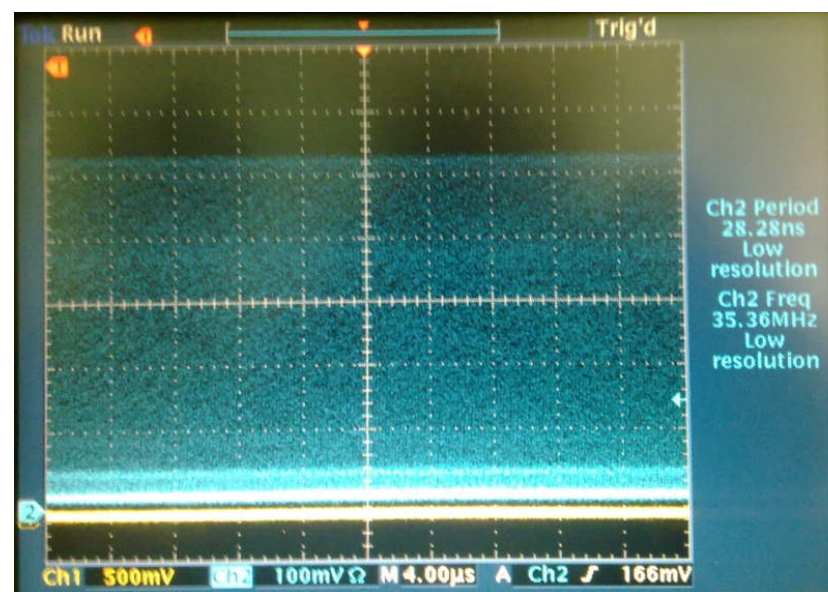
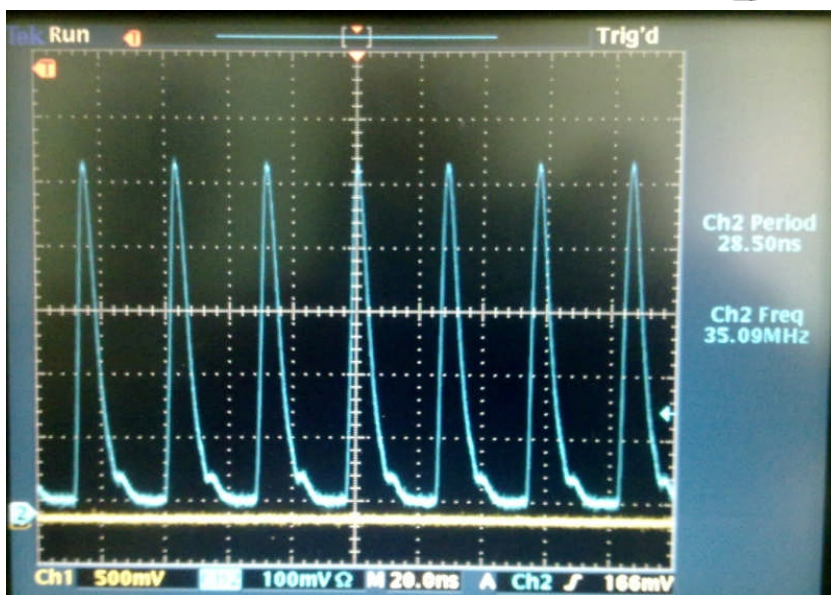
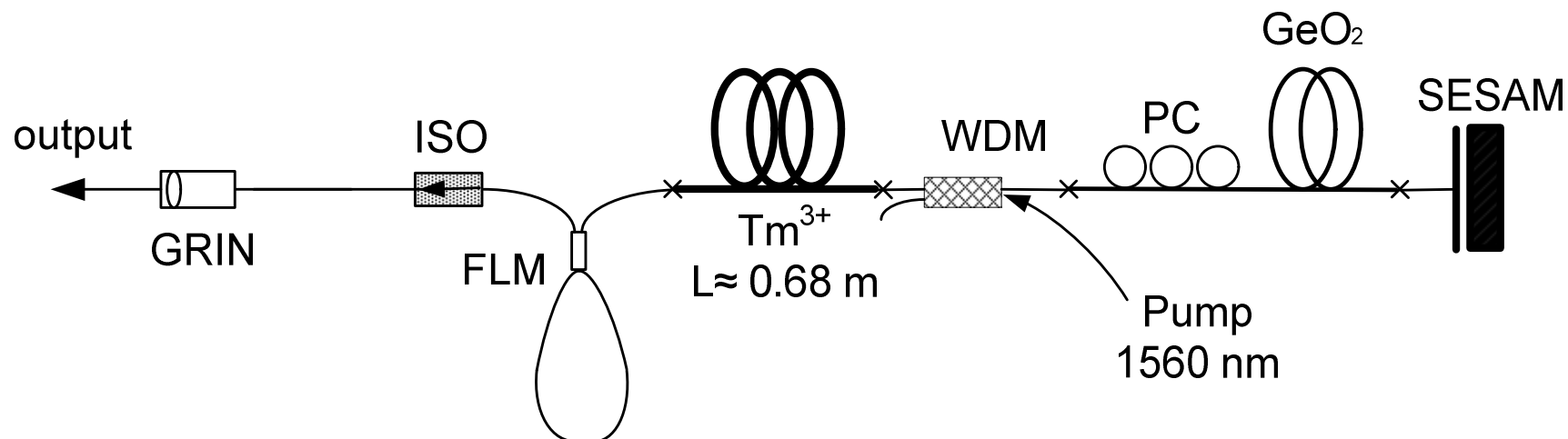
Ref. Q.Wang, et al. "Mode-locked Ultrafast Thulium fiber laser with all-fiber dispersion management" *OSA / CLEO/QELS 2010*



Ref. R.Gumenyuk et al. "Dissipative dispersion-managed soliton 2 μm thulium/holmium fiber laser", *Opt.Lett* **36**(5) (2011)



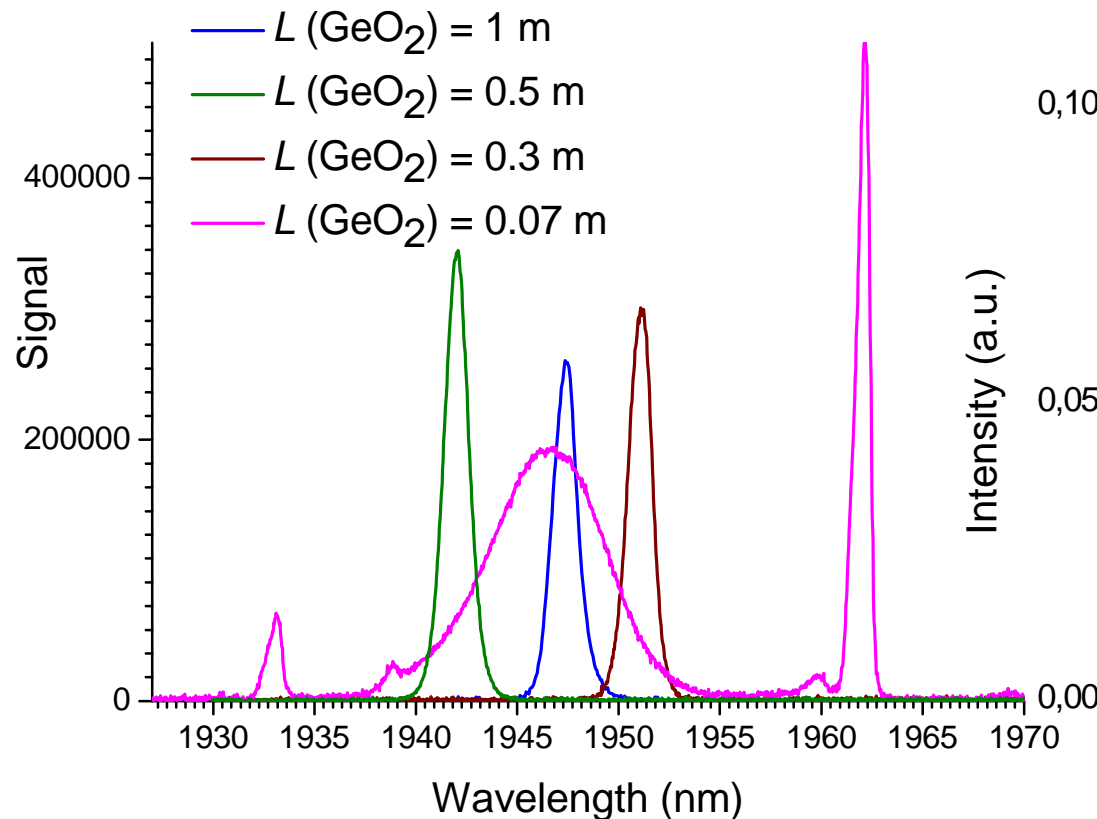
# Схема тулиевого лазера с пассивной синхронизацией мод и усилителя



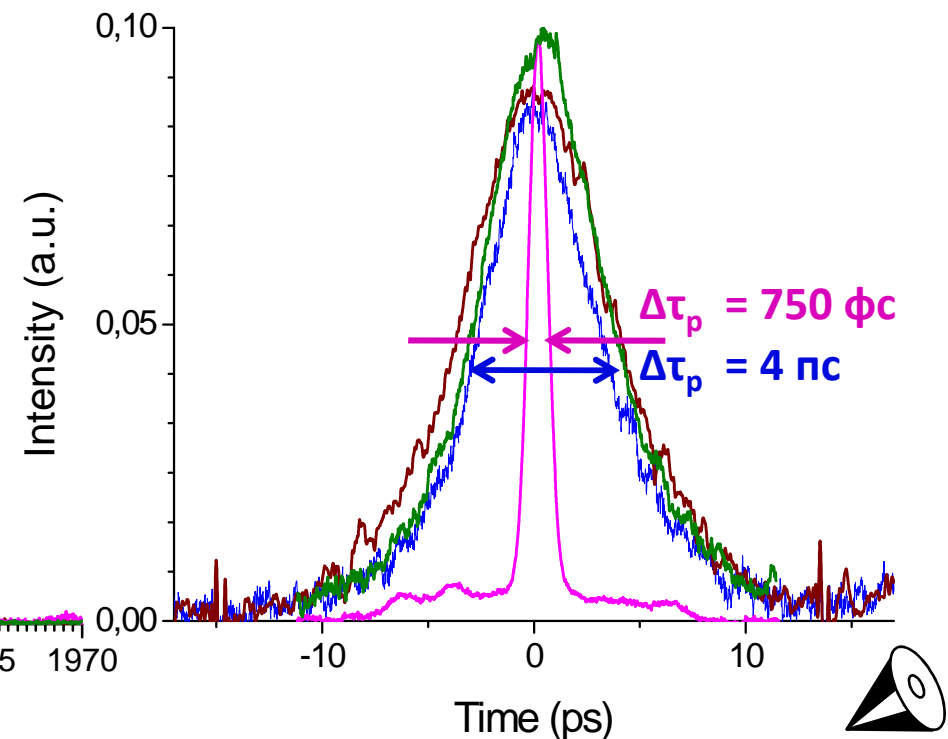
# Выходные характеристики задающего лазера

Длина германо-силикатного  $\text{GeO}_2$  световода менялась от 1 м до 7 см  
 ДГС резонатора варьировалась от  $0.19 \text{ пс}^2$  до  $-0,15 \text{ пс}^2$

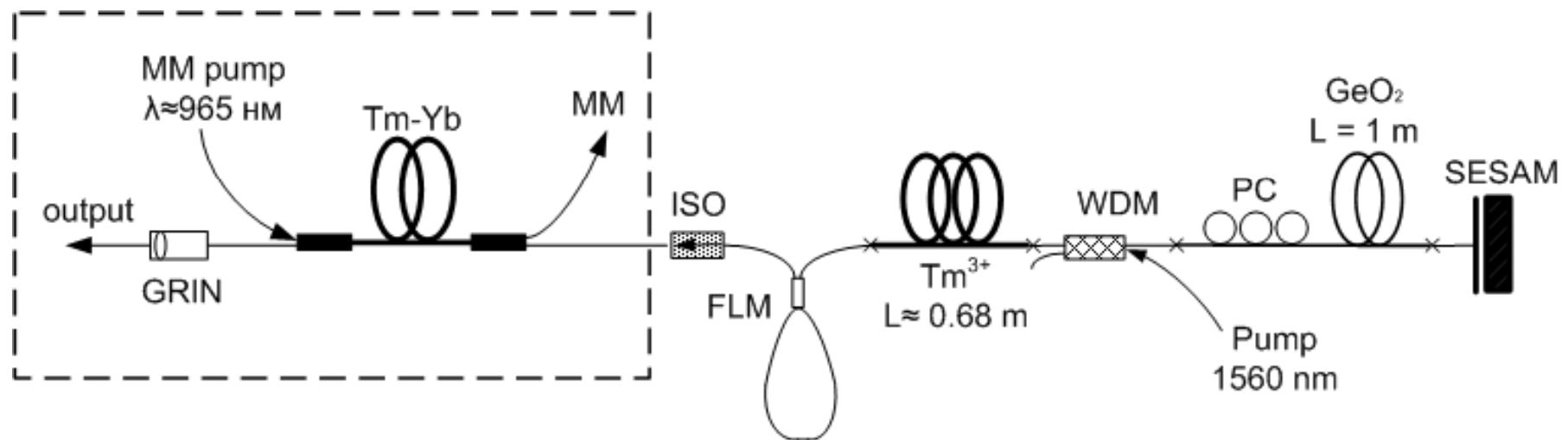
## Спектр выходного излучения



## Автокорреляционная функция



## Схема тулиевого лазера с пассивной синхронизацией мод и усилителя

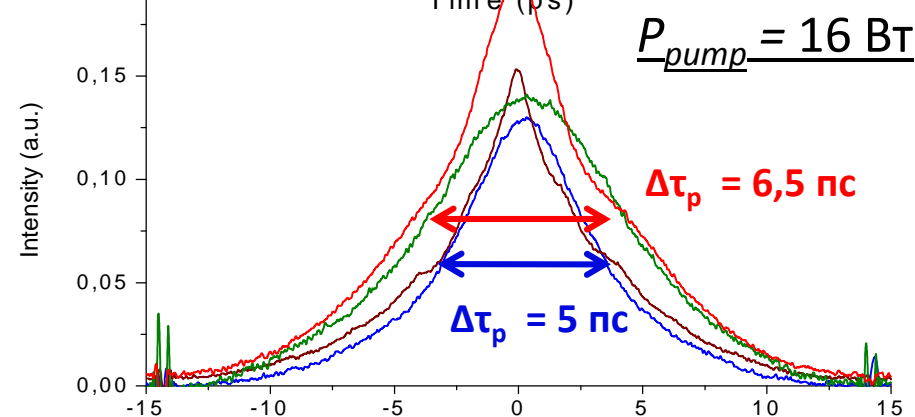
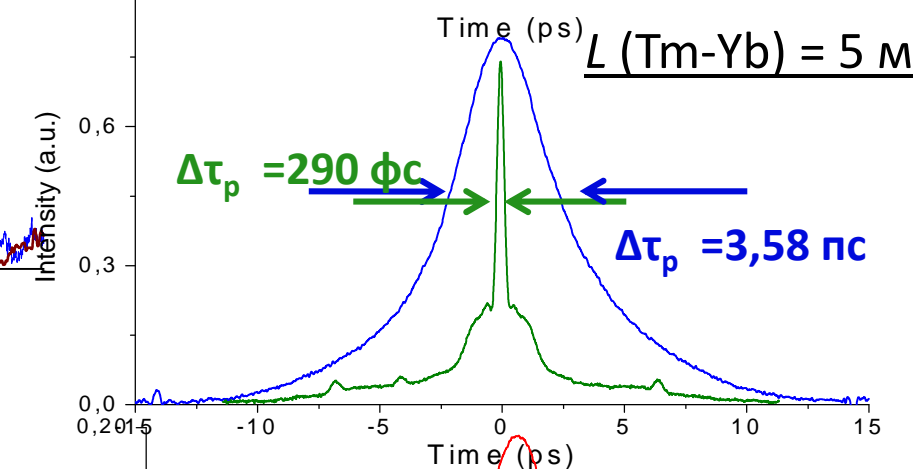
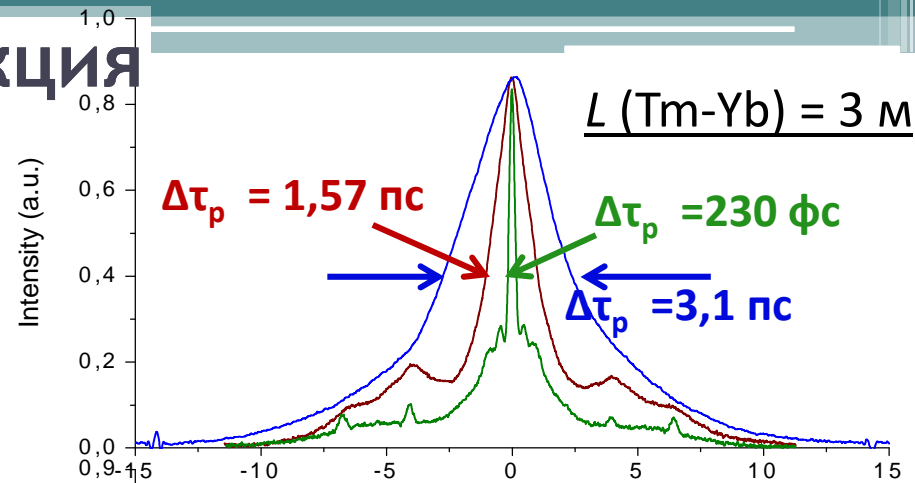
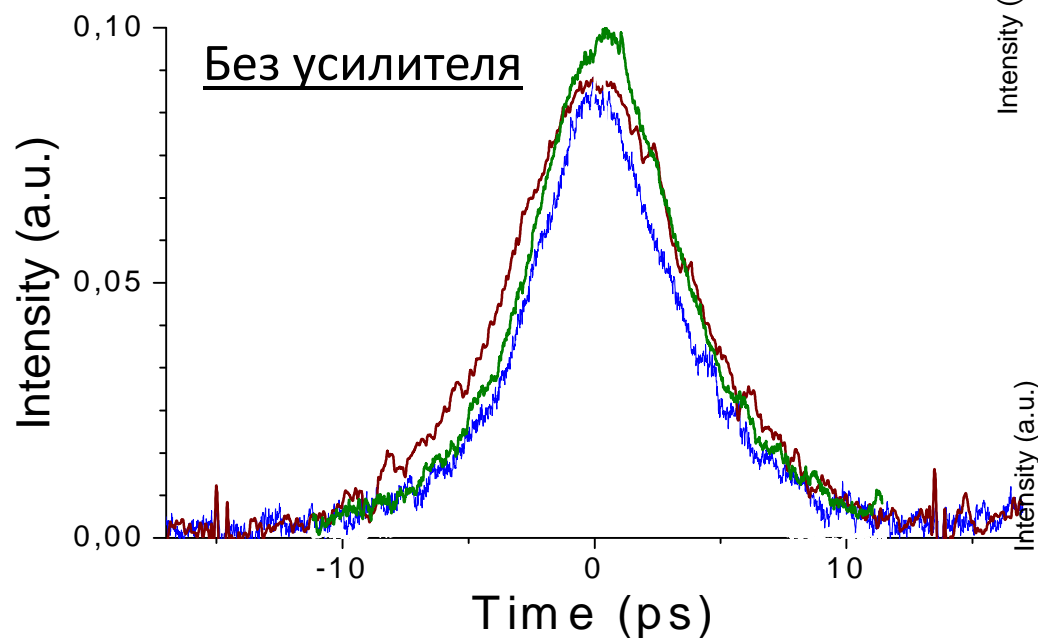


Длина германо-силикатного  $\text{GeO}_2$  световода менялась от 1 м до 30 см  
 Длина тулий-иттербиевого волокна составляла 3 или 5 м.



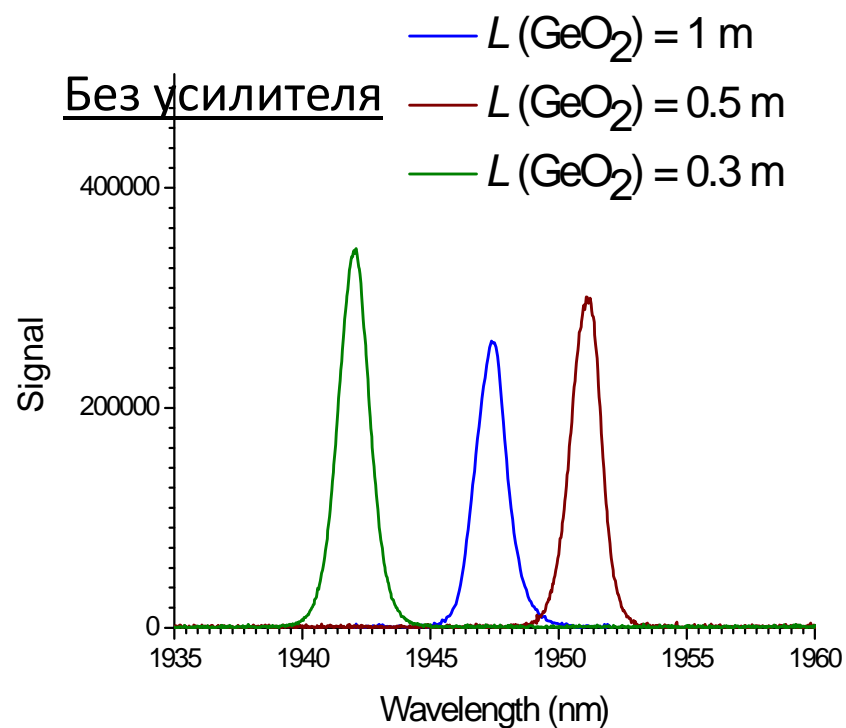


# Автокорреляционная функция на выходе усилителя



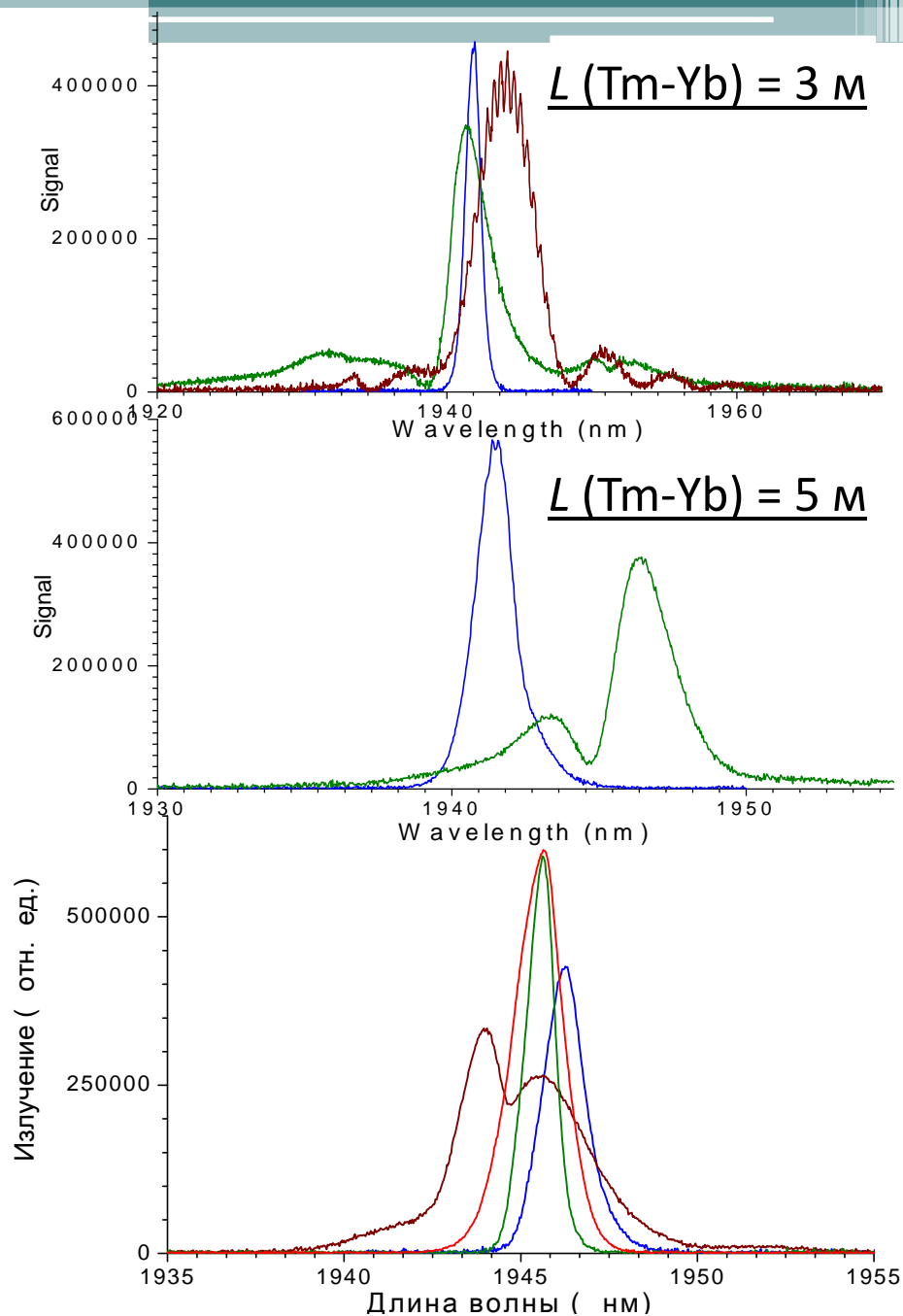
	$L$ (GeO <sub>2</sub> ) (м)	$L$ (Tm-Yb) (м)	$P_{aver}$ (Вт)
—	1	3	0.6
		5	1.08
—	0.5	3	0.73
		5 ( $P_{pump} = 5.3$ Вт)	0.6
—	0.3	3	0.63

# Спектры выходного излучения

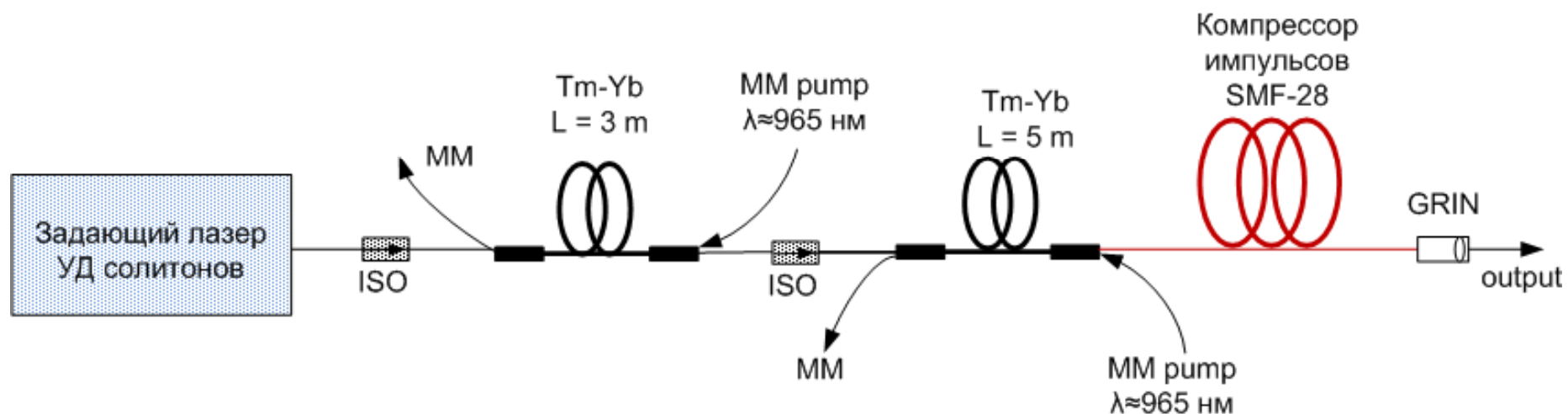


$$P_{out} = 2,1 \text{ Вт при } L(\text{GeO}_2) = 1 \text{ м и}$$

$$P_{pump} = 16 \text{ Вт}$$

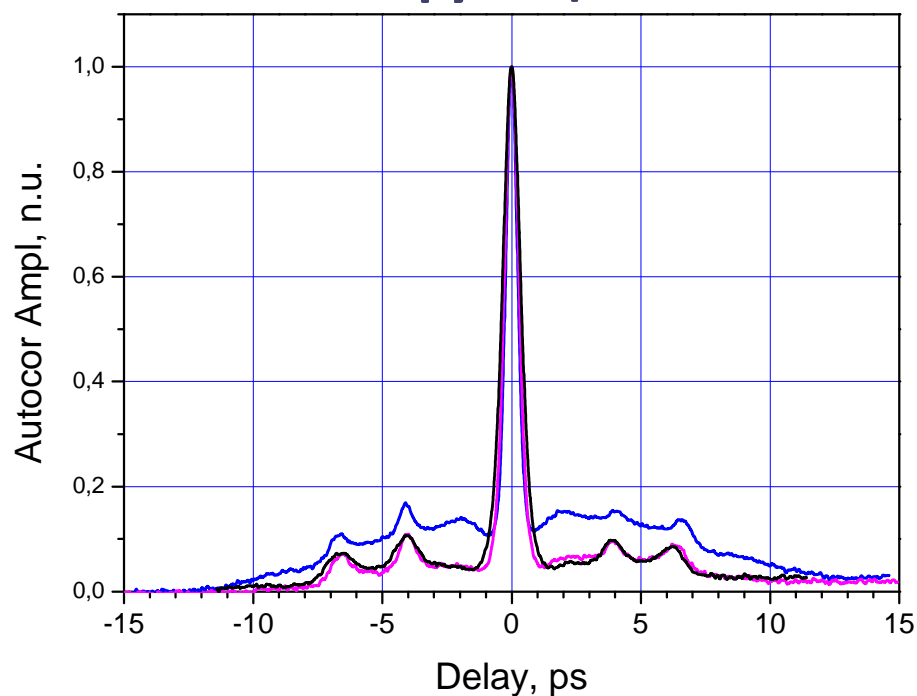


## Схема тулиевого лазера с двухкаскадным усилителем

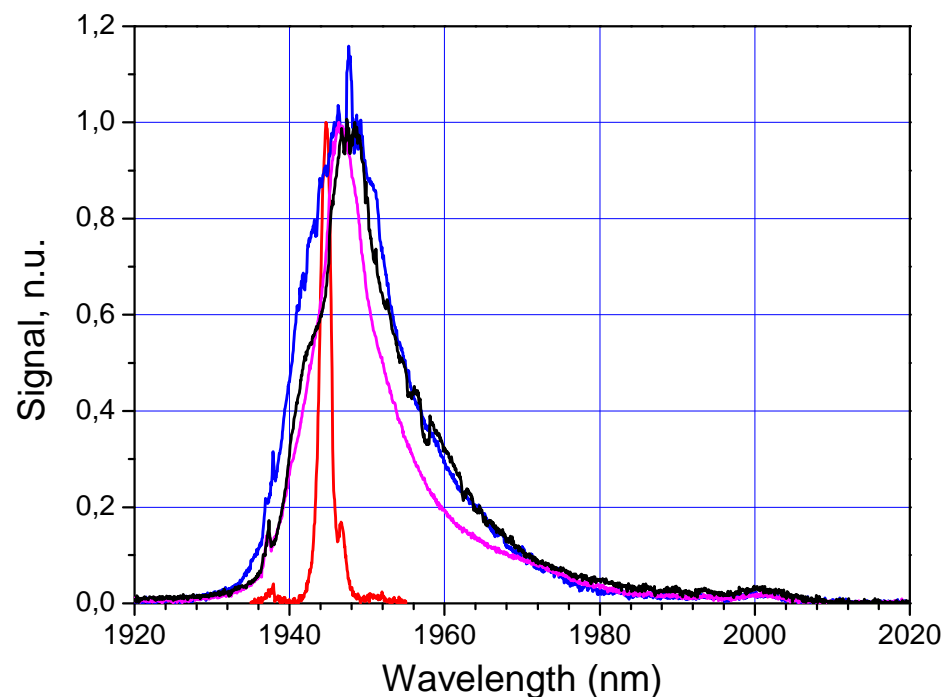


# Характеристики сжатых импульсов

## Автокорреляционная функция



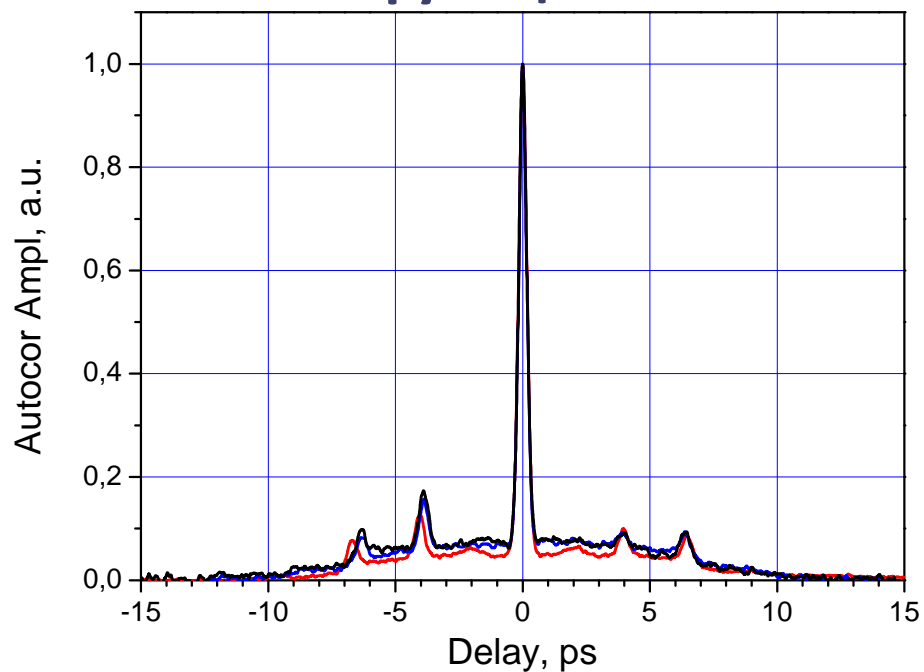
## Спектр выходного излучения



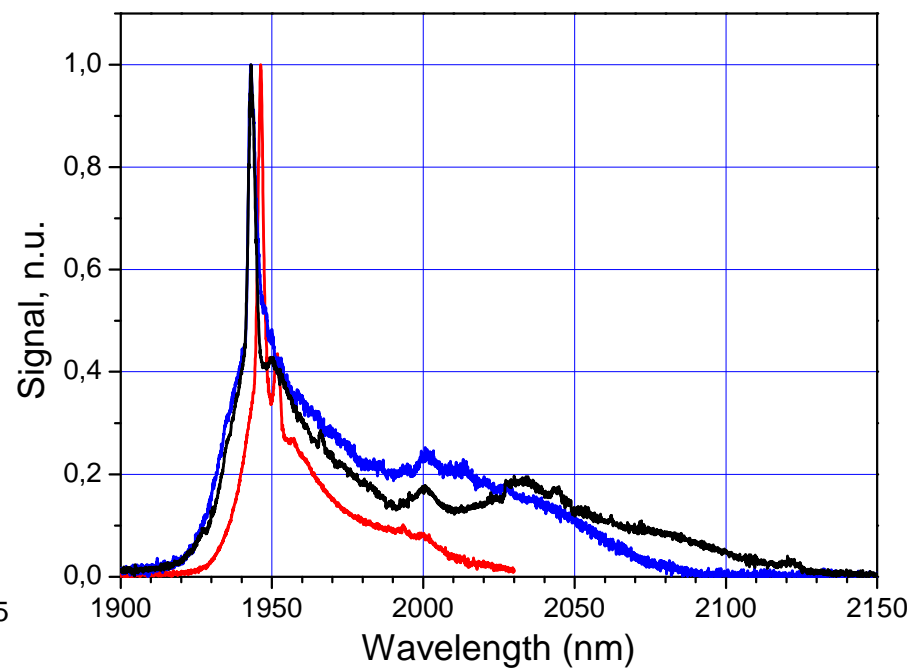
- $L_{SMF}=50 \text{ м}, P=0.19 \text{ Вт},$
- $L_{SMF}=50 \text{ м}, \tau_p=366 \text{ фс}, \Delta\lambda=15.3 \text{ нм}, P=0.9 \text{ Вт}, \eta=22\%$
- $L_{SMF}=100 \text{ м}, \tau_p=440 \text{ фс}, \Delta\lambda=11.7 \text{ нм}, P=0.77 \text{ Вт}, \eta=42\%$
- $L_{SMF}=150 \text{ м}, \tau_p=540 \text{ фс}, \Delta\lambda=12 \text{ нм}, P=0.65 \text{ Вт}, \eta=47\%$

# Характеристики сжатых импульсов

## Автокорреляционная функция



## Спектр выходного излучения



- $L_{SMF}=20$  м,  $\tau_p=256$  фс,  $P=2.9$  Вт,  $\eta=34\%$
- $L_{SMF}=10$  м,  $\tau_p=249$  фс,  $P=3.3$  Вт,  $\eta=28\%$
- $L_{SMF}=10$  м,  $\tau_p=253$  фс,  $P=4$  Вт,  $\eta=27\%$

## Выводы

- исследован режим генерации солитонов, управляемых дисперсией, в тулиевом волоконном лазере с пассивной синхронизацией мод в зависимости от величины ДГС резонатора;
- разработана схема усилителя на основе МПО-световода легированного тулием и иттербием; исследованы его выходные характеристики в зависимости от длины активного волокна и мощности излучения накачки;
- создан и исследован двухкаскадный усилитель на основе МПО-световода легированного тулием и иттербием; максимальная средняя мощность усиленного излучения достигает 4 Вт.
- в качестве компрессора усиленных импульсов был предложен и исследован стандартный световод SMF-28.
- длительность сжатых солитоноподобных импульсов составила  $250 \div 540$  фс в зависимости от длины SMF-28 и выходной усиленной мощности.





**Спасибо за внимание!**