

УДК 681.7.068

В.М. Волоси^{1,2}, И. Жданов¹, Н.А. Коляда^{1,2,3}, Д.С. Харенко^{1,2}, С.А. Бабин¹¹Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
Новосибирск, Российская Федерация²Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Российская Федерация³Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИССИПАТИВНЫХ ВКР-СОЛИТОНОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ВБЛИЗИ 1,7 МКМ

В работе продемонстрировано исследование характеристик диссипативных ВКР-солитонов на длинах волн 1,6–1,7 мкм в зависимости от энергии импульсов накачки и добротности внешнего резонатора. В представленной схеме генератора были получены импульсы с частотой повторения 6,54 МГц, в диапазоне энергий 4,3–7,2 нДж. Дифференциальная эффективность перекачки энергии в диссипативные ВКР-солитоны составила порядка 83 % на длине волны 1,66 мкм. Выполнено численное моделирование внешнего резонатора и проведен анализ сжатия импульсов в оптическом волокне с аномальной дисперсией. Показано, что увеличение доли отводимого излучения из внешнего резонатора с 50 до 80 % может увеличить качество генерируемых импульсов.

Ключевые слова: волоконный лазер, оптическое волокно, диссипативный солитон, вынужденное комбинационное рассеяние.

V.M. Volosi^{1,2}, I. Zhdanov¹, N.A. Koliada^{1,2,3}, D.S. Karenko^{1,2}, S.A. Babin¹¹Institute of Automation and Electrometry SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation³Institute of Laser Physics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

INVESTIGATION OF RAMAN DISSIPATIVE SOLITONS PARAMETERS GENERATED NEAR 1.7 MM

This work demonstrates a study Raman dissipative solitons parameters at wavelengths of 1.6–1.7 μm as a function of pump pulse energy and external cavity quality factor. In the presented scheme of the Raman dissipative solitons generator, pulses with a repetition rate of 6.54 MHz, an energy in range of 4.3–7.2 nJ, and slope efficiency of about 83% at a wavelength of 1.66 μm were obtained. Numerical simulation of an external cavity and analysis of pulse compression in an optical fiber with anomalous dispersion are presented. It is shown that an increase in the fraction of diverted radiation from the external cavity from 50% to 80% may allow increasing the quality of generated pulses.

Keywords: fiber laser, optical fiber, dissipative soliton, stimulated Raman scattering.

Введение

Волоконные лазеры обладают множеством преимуществ на фоне существующих лазерных источников, в частности, высоким качеством генерируемого излучения, устойчивостью к внешним воздействиям, отсутствием объемной оптики и, как следствие, не требуют дополнительной юстировки [1]. Благодаря этому они получили распространение как в промышленности, так и в научных исследованиях, где особый интерес проявлялся к исследованиям биологических объектов с применением нелинейных эффектов [2]. Волоконные лазеры позволяют реализовать неинвазивные исследования методами многофотонной флуоресцентной микроскопии [3], оптической когерентной томографии [4], а также когерентной антистоксовой рамановской спектроскопии [5] и спектроскопии вынужденного комбинационного рассеяния [6]. В исследованиях биологических объектов важно учитывать требование на центральную длину волны используемого излучения, которое связано с наличием так называемых «окон прозрачности воды» – 1,3 и 1,7 мкм [7, 8]. На этих длинах волн свет поглощается водой в наименьшей степени, что позволяет достигать заметно большей глубины проникновения излучения внутрь исследуемого образца. На текущий момент есть несколько активно развивающихся методов получения импульсов в данных спектральных областях: прямая генерация с использованием оптических волокон, легированных ионами редкоземельных металлов [9, 10], и генерация излучения с применением нелинейных процессов [11–13]. Стоит особенно отметить методику генерации диссипативных ВКР-солитонов, являющуюся эффективным инструментом в области 1,3 мкм [14] и совсем недавно продемонстрированную в области 1,7 мкм [15].

В данной работе представлено экспериментальное и численное исследование зависимости характеристик диссипативных ВКР-солитонов, генерируемых во внешнем волоконном резонаторе, на длинах волн 1,6–1,7 мкм в зависимости от энергии импульсов накачки и доли излучения, отводимого из внешнего резонатора.

Описание эксперимента

Генератор диссипативных ВКР-солитонов состоял из трёх основных частей: задающего генератора, коммерческого эрбиевого усилителя с двухпроходным растяжителем импульсов накачки и внешнего

резонатора (рис. 1). В качестве задающего лазера выступал генератор сильночирпованных диссипативных солитонов (СЧДС) с синхронизацией мод на основе нелинейного вращения поляризации. Импульсы накачки имели среднюю мощность 0,6 мВт (0,1 нДж) и генерировались с частотой повторения 6,54 МГц. Подробное описание характеристик данного источника приводится в статье [16]. Энергия импульсов была увеличена по методике усиления чирпованных импульсов (chirped pulse amplification – CPA). Использовался двухпроходный растяжитель импульсов, состоящий из поляризационного делителя пучка (PBS₂), оптического волокна с нормальной дисперсией ThorLabs PM DCF ($\beta_2 \approx 128$ пс²/км) и зеркала Фарадея (FM), что позволило обеспечить достаточное уширение импульсов и достичь высоких энергий после усиления [17]. Усиленные импульсы имели длительность 18,8 пс и среднюю мощность до 180 мВт (27 нДж).

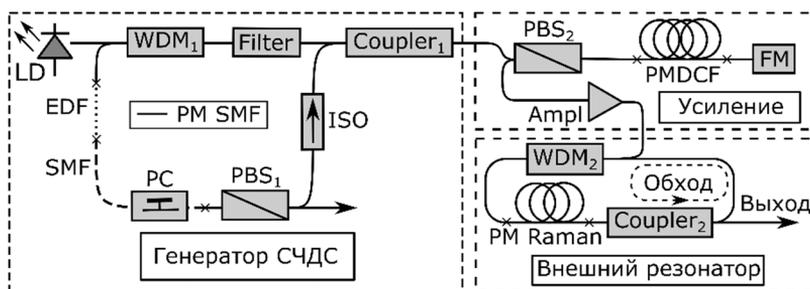


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для генерации диссипативных ВКР-солитонов, где LD – лазерный диод накачки, EDF – активное оптическое волокно, легированное эрбием, PC – контроллер поляризации, SMF – одномодовое оптическое волокно, PM SMF – оптическое волокно с сохранением поляризации, PBS_{1,2} – поляризационный делитель пучка, ISO – изолятор, Filter – спектральный фильтр, WDM_{1,2} – спектрально-селективный ответвитель, Coupler_{1,2} – ответвитель, PM DCF, PM Raman – специальные оптические волокна, Ampl – усилитель

Излучение накачки заводилось во внешний резонатор через спектрально-селективный ответвитель (WDM₂). В схеме используется оптическое волокно с высоким коэффициентом ВКР-усиления ($g_R \approx 2,5$ Вт⁻¹ км⁻¹) и нормальной дисперсией PM Raman марки OFS и выходной ответвитель (Coupler₂) с коэффициентом деления 50 или 80 %. Для анализа полученных импульсов использовался оптический анализатор спектра OSA (Yokogawa 6370), радиочастотный анализатор спектра (Agilent N9010A) и измеритель мощности ThorLabs PM100 с германиевой измерительной головкой S122C. Длительность импульсов была измерена по

методу частотно-разрешенного оптического стробирования (frequency resolved optical gating – FROG) с последующей интерпретацией данных с помощью обобщенного алгоритма реконструкции импульсов (common pulse retrieval algorithm – COPRA), реализованного в библиотеке PyPRET [18].

Результаты

Для получения генерации диссипативных ВКР-солитонов требовалось точное согласование частот повторения импульсов накачки с частотой внешнего резонатора. Данная настройка осуществлялась за счёт подгонки длин оптических волокон во внешнем резонаторе и последующей прецизионной подстройки частоты повторения задающего генератора. По измеренным радиочастотным спектрам наблюдалось совпадение частоты повторения импульсов задающего генератора и диссипативных ВКР-солитонов, которая составляет 6,54 МГц. Также было продемонстрировано высокое соотношение сигнал/шум в 60 дБ при разрешении 1 Гц для спектра частоты повторения диссипативных ВКР-солитонов (рис. 2).

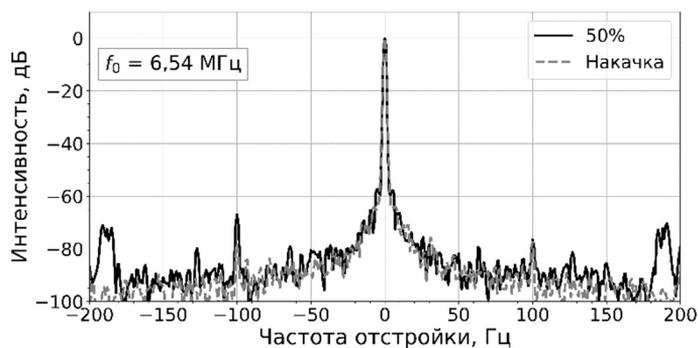


Рис. 2. Радиочастотный спектр СЧДС и диссипативных ВКР-солитонов, разрешение 1 Гц

На рис. 3, а представлены оптические спектры диссипативных ВКР-солитонов для конфигурации с коэффициентом вывода 50 %. С ростом мощности лазерного излучения на входе внешнего резонатора наблюдается уширение оптических спектров. Средняя мощность импульсов на выходе внешнего резонатора варьировалась в диапазоне 28–47 мВт (4,3–7,2 нДж), а дифференциальная эффективность преобразования в диссипативные ВКР-солитоны составила $\approx 83\%$. Максимальное

значение ограничивалось переходом в генерацию шумоподобных импульсов, когда спектр полностью терял внутреннюю структуру и становился гладким, а также перекачкой энергии в стоксовы импульсы второго порядка. FROG-спектрограмма и АКФ, представленные на рис. 3, б, в, показывают, что импульсы сильно уширены, их длительность составляет порядка 44 пс. А наличие узкого пика на широкой подложке в АКФ импульса свидетельствует о генерации частично-когерентных импульсов [19, 20]. По измеренным данным сделан вывод, что из-за избыточного накопления нелинейного набега фазы спектральная форма диссипативных ВКР-солитонов сильно искажена.

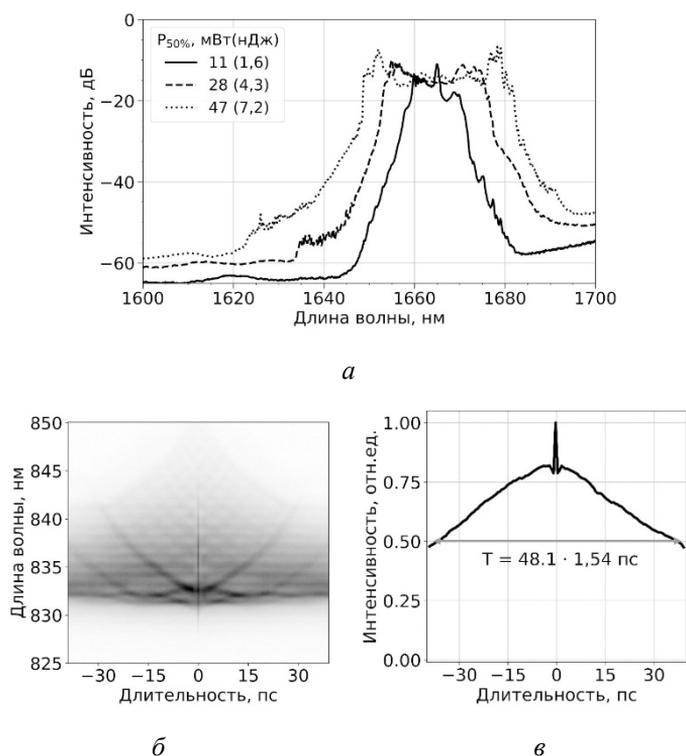


Рис. 3. Оптические спектры диссипативных ВКР-солитонов при различных значениях мощности накачки (а); FROG-спектрограмма (б) и автокорреляционная функция (в), соответствующие генерации частично-когерентных импульсов для значения средней мощности 47 мВт (7,2 нДж)

Для сжатия использовалось оптическое волокно с аномальной дисперсией, характеристики которого соответствовали Fujikura SM15-PS-U25D, присутствующему во внешнем резонаторе. Оптимальная длина

волокна подбирались экспериментально и составила 40 м. Как итог, на рис. 4, *a–в* показано сравнение измеренных и восстановленных FROG-спектрограмм, рассчитанных по ним АКФ и оптических спектров до и после сжатия для диссипативных ВКР-солитонов. Из результатов сжатия следует, что импульс распадается на серию субимпульсов с меньшей энергией, что явно видно по восстановленной временной форме, представленной на рис. 4, *г*.

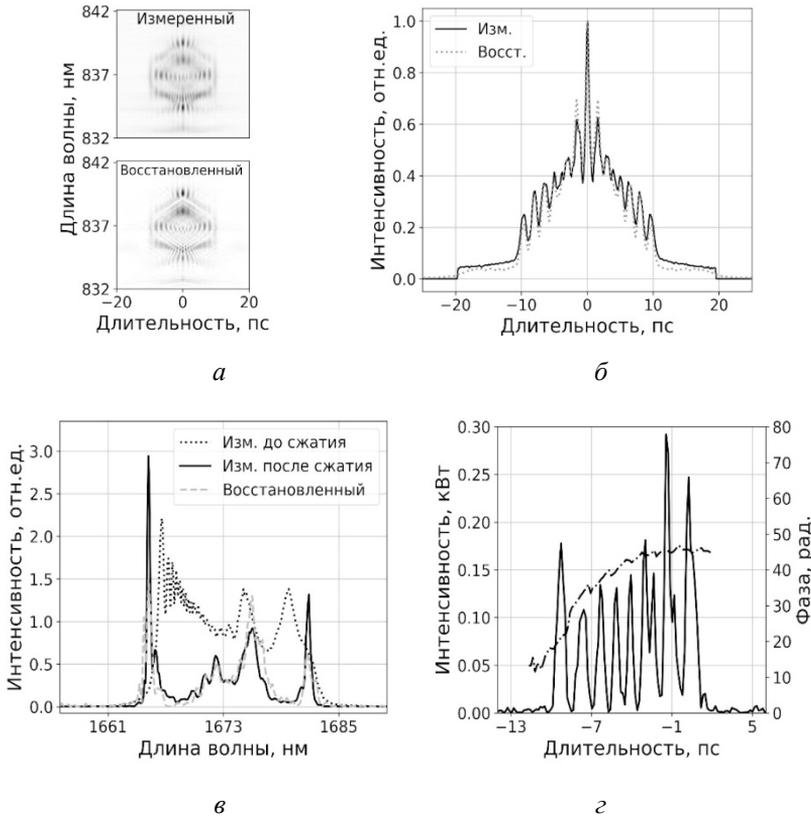


Рис. 4. Полное сравнение измеренных и восстановленных данных, включая FROG-спектрограммы (*a*), автокорреляционные функции (*б*), оптические спектры (*в*) и временную форму сжатого диссипативного ВКР-солитона (*г*) для конфигурации с 50%-ной обратной связью

В соответствии с измеренными параметрами накачки и характеристиками внешнего резонатора было выполнено численное моделирование с использованием библиотеки PyOFSS [21]. По измеренным характеристикам импульсов накачки был подобран аналитический импульс в форме диссипативного солитона с соответствующими параметрами:

длительность, чирп и ширина оптического спектра. Модель основывалась на решении нелинейного уравнения Шредингера для оптических импульсов в одномодовом оптическом волокне [22]. Расчёт был выполнен при учёте функции ВКР-отклика, основанной на модели множественных колебаний мод для кварцевых световодов [23]. Наблюдалось качественное согласование экспериментальных и расчетных оптических спектров, как показано на рис. 5.

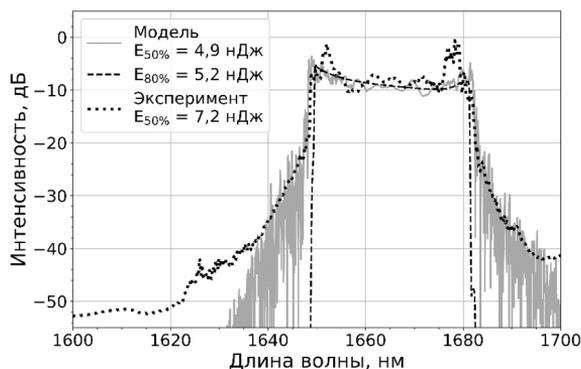


Рис. 5. Моделирование диссипативных ВКР-солитонов для различных конфигураций внешнего резонатора

Поскольку в конфигурации внешнего резонатора с 50%-ным ответвителем были получены частично-когерентные импульсы и в результате сжатия временная форма импульсов распадалась на серию субимпульсов, был проведен численный анализ. Варьируя величину коэффициента обратной связи, было выявлено, что с увеличением доли отводимого излучения улучшается качество генерируемых импульсов. Наиболее подходящим был выбран ответвитель с коэффициентом вывода 80 %.

На рис. 6, а, б приводится сравнение измеренных и восстановленных FROG-спектрограмм и АКФ. Также на рис. 6, в представлено сравнение измеренного и восстановленного по FROG-спектрограмме оптических спектров. По восстановленной временной огибающей на рис. 6, г видно, что полученные импульсы имеют длительность 300 фс и пиковую мощность порядка 1,5 кВт. Энергия диссипативных ВКР-солитонов, генерируемых во внешнем резонаторе с 80%-ным ответвителем, варьировалась в области значений 0,5–3,6 нДж с дифференциальной эффективностью преобразования 57 %. Таким образом,

экспериментально показано, что предсказанное в модели улучшение качества генерируемых импульсов, обеспечиваемое уменьшением обратной связи внешнего резонатора, действительно подтверждается на практике. Подробное исследование данной конфигурации внешнего резонатора представлено в статьях [17, 24].

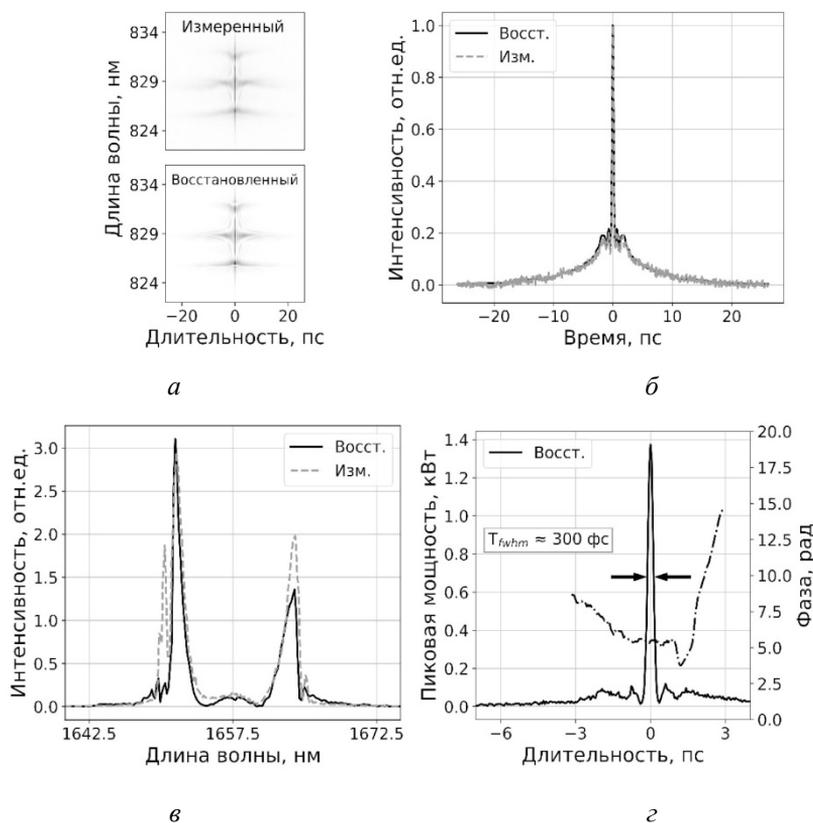


Рис. 6. Полное сравнение измеренных и восстановленных данных, включая FROG-спектрограммы (а), автокорреляционные функции (б), оптические спектры (в) и временную форму сжатого диссипативного ВКР-солитона (г) для 80 % конфигурации

Заключение

По итогам экспериментов по генерации диссипативных ВКР-солитонов во внешнем резонаторе с 50%-ным ответвителем и сжатию в оптическом волокне с аномальной дисперсией был сделан вывод, что генерируемые импульсы являлись частично-когерентными и распадались на серию субимпульсов при их сжатии. В данной конфигурации были получены диссипативные ВКР-солитоны с энергиями 4,3–7,2 нДж

и дифференциальной эффективностью порядка 83 %. Из численного моделирования был сделан вывод, что уменьшение обратной связи во внешнем резонаторе позволяет значительно улучшить качество генерируемых импульсов. Выдвинутое предположение было подтверждено в экспериментах по генерации диссипативных ВКР-солитонов во внешнем резонаторе с 80%-ным ответителем, энергия которых достигала уровня 4 нДж на центральной длине волны 1,66 мкм с дифференциальной эффективностью преобразования 57 %. С точки зрения фундаментальных исследований данная работа показывает универсальность эффекта ВКР для генерации импульсов на длинах волн, соответствующих целевой области применения. Данный источник излучения имеет перспективы для активно развивающейся на сегодняшний день области биомедицинской визуализации с применением нелинейных эффектов.

Список литературы

1. Fiber lasers and their applications / W. Shi [et al.] // Applied optics. – 2014. – Vol. 53, no. 28. – P. 6554–6568.
2. 1700 nm optical coherence microscopy enables minimally invasive, label-free, in vivo optical biopsy deep in the mouse brain / J. Zhu [et al.] // Light: Science & Applications. – 2021. – Vol. 10, no. 1. – P. 145.
3. Yamada M., Lin L.L., Prow T.W. Multiphoton microscopy applications in biology // Fluorescence microscopy. – Academic Press, 2014. – P. 185–197.
4. Noninvasive, in vivo imaging of subcortical mouse brain regions with 1.7 μm optical coherence tomography / S.P. Chong [et al.] // Optics letters. – 2015. – Vol. 40, no. 21. – P. 4911–4914.
5. Roy S., Gord J.R., Patnaik A.K. Recent advances in coherent anti-Stokes Raman scattering spectroscopy: Fundamental developments and applications in reacting flows // Progress in Energy and Combustion Science. – 2010. – Vol. 36, no. 2. – P. 280–306.
6. Stimulated Raman scattering microscopy with a robust fibre laser source / C.W. Freudiger [et al.] // Nature photonics. – 2014. – Vol. 8, no. 2. – P. 153–159.
7. Xu C., Wise F.W. Recent advances in fibre lasers for nonlinear microscopy // Nature photonics. – 2013. – Vol. 7, no. 11. – P. 875–882.
8. Advances of mode-locking fiber lasers in neural imaging / S. Fan [et al.] // Advanced Optical Materials. – 2023. – Vol. 11, no. 15. – P. 2202945.

9. Fiber chirped pulse amplification of a short wavelength mode-locked thulium-doped fiber laser / C. Li [et al.] // *Apl Photonics*. – 2017. – Vol. 2, no. 12.

10. Laser-active fibers doped with bismuth for a wavelength region of 1.6–1.8 μm / S.V. Firstov [et al.] // *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. – 2018. – Vol. 24, no. 5. – P. 1–15.

11. High power soliton self-frequency shift with improved flatness ranging from 1.6 to 1.78 μm / T.N. Nguyen [et al.] // *IEEE Photonics Technology Letters*. – 2013. – Vol. 25, no. 19. – P. 1893–1896.

12. Ma X. Nonlinear effects-based 1.7 μm fiber lasers: A review and prospect // *MATEC Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 382. – P. 01028.

13. All-fiber high-power 1700 nm femtosecond laser based on optical parametric chirped-pulse amplification / Y. Qin [et al.] // *Optics express*. – 2020. – Vol. 28, no. 2. – P. 2317–2325.

14. Generation of Raman dissipative solitons near 1.3 microns in a phosphosilicate-fiber cavity / D.S. Kharenko [et al.] // *Optics Express*. – 2018. – Vol. 26, no. 12. – P. 15084–15089.

15. Генерация рамановских диссипативных солитонов вблизи 1,7 μm с синхронной накачкой / В.М. Волоси, И. Жданов, Д.С. Харенко, Н.А. Коляда, С.А. Бабин // *Материалы 10-го Междунар. сем. по волоконным лазерам; Новосибирск, 15–19 августа 2022 г.* – С. 73–74.

16. Energy scaling of an erbium-doped mode-locked fiber laser oscillator / I.S. Zhdanov [et al.] // *OSA Continuum*. – 2021. – Vol. 4, no. 10. – P. 2663–2670.

17. Raman dissipative soliton source of ultrashort pulses in NIR-III spectral window / I. Zhdanov [et al.] // *Optics Express*. – 2023. – Vol. 31, no. 21. – P. 35156–35163.

18. Common pulse retrieval algorithm: a fast and universal method to retrieve ultrashort pulses / N.C. Geib [et al.] // *Optica*. – 2019. – Vol. 6, no. 4. – P. 495–505.

19. Three key regimes of single pulse generation per round trip of all-normal-dispersion fiber lasers mode-locked with nonlinear polarization rotation / S. Smirnov [et al.] // *Optics express*. – 2012. – Vol. 20, no. 24. – P. 27447–27453.

20. Coherent artifact and time-dependent polarization in amplified ultrafast erbium-doped fibre lasers / M. López-Ripa [et al.] // *Optics & Laser Technology*. – 2021. – Vol. 140. – P. 107018.

21. Kharenko D.S. Pyofss: Python-based optical fibre system simulator. – Github, 2022. – URL: <https://github.com/galilley/pyofss>.

22. Evolution of dissipative solitons in a fiber laser oscillator in the presence of strong Raman scattering / A.E. Bednyakova [et al.] // *Optics express*. – 2013. – Vol. 21, no. 18. – P. 20556-20564.

23. Hollenbeck D., Cantrell C.D. Multiple-vibrational-mode model for fiberoptic Raman gain spectrum and response function // *JOSA B*. – 2002. – Vol. 19, no. 12. – P. 2886–2892.

24. Исследование параметров диссипативных ВКР-солитонов, генерируемых вблизи 1,7 мкм / В.М. Волоси [и др.] // *Фотон-экспресс*. – 2023. – № 6 (190). – С. 259–260.

References

1. Shi W. et al. Fiber lasers and their applications. *Applied Optics*, 2014, vol. 53, no. 28, pp. 6554-6568.

2. Zhu J. et al. 1700 nm optical coherence microscopy enables minimally invasive, label-free, in vivo optical biopsy deep in the mouse brain. *Light: Science & Applications*, 2021, vol. 10, no. 1, p. 145.

3. Yamada M., Lin L.L., Prow T.W. Multiphoton microscopy applications in biology. *Fluorescence Microscopy*. Ed. A. Cornea, P.M. Conn. Academic Press, 2014, pp. 185-197.

4. Chong S.P. et al. Noninvasive, in vivo imaging of subcortical mouse brain regions with 1.7 μm optical coherence tomography. *Optics Letters*, 2015, vol. 40, no. 21, pp. 4911-4914.

5. Roy S., Gord J.R., Patnaik A.K. Recent advances in coherent anti-Stokes Raman scattering spectroscopy: fundamental developments and applications in reacting flows. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2010, vol. 36, no. 2, pp. 280-306.

6. Freudiger C.W. et al. Stimulated Raman scattering microscopy with a robust fibre laser source. *Nature Photonics*, 2014, vol. 8, no. 2, pp. 153-159.

7. Xu C., Wise F.W. Recent advances in fibre lasers for nonlinear microscopy. *Nature Photonics*, 2013, vol. 7, no. 11, pp. 875-882.

8. Fan S. et al. Advances of mode-locking fiber lasers in neural imaging. *Advanced Optical Materials*, 2023, vol. 11, no. 15, p. 2202945.

9. Li C. et al. Fiber chirped pulse amplification of a short wavelength mode-locked thulium-doped fiber laser. *APL Photonics*, 2017, vol. 2, no. 12, p. 121302.

10. Firstov S.V. et al. Laser-active fibers doped with bismuth for a wavelength region of 1.6-1.8 μm . *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2018, vol. 24, no. 5, pp. 1-15.

11. Nguyen T.N. et al. High power soliton self-frequency shift with improved flatness ranging from 1.6 to 1.78 μm . *IEEE Photonics Technology Letters*, 2013, vol. 25, no. 19, pp. 1893-1896.
12. Ma X. Nonlinear effects-based 1.7 μm fiber lasers: A review and prospect. *MATEC Web of Conferences*, 2023, vol. 382, p. 01028.
13. Qin Y. et al. All-fiber high-power 1700 nm femtosecond laser based on optical parametric chirped-pulse amplification. *Optics Express*, 2020, vol. 28, no. 2, pp. 2317-2325.
14. Kharenko D.S. et al. Generation of Raman dissipative solitons near 1.3 microns in a phosphosilicate-fiber cavity. *Optics Express*, 2018, vol. 26, no. 12, pp. 15084-15089.
15. Volosi V.M., Zhdanov I., Kharenko D.S., Koliada N.A., Babyn S.A. Generatsiia ramanovskikh dissipativnykh solitonov vblizi 1,7 mkm s sinkhronnoi nakachkoi [Generation of Raman dissipative solitons near 1.7 μm with synchronous pumping]. *Proceedings of 10th International Workshop on Fiber Lasers*, 2022, pp. 73-74.
16. Zhdanov I.S. et al. Energy scaling of an erbium-doped mode-locked fiber laser oscillator. *OSA Continuum*, 2021, vol. 4, no. 10, pp. 2663-2670.
17. Zhdanov I. et al. Raman dissipative soliton source of ultrashort pulses in NIR-III spectral window. *Optics Express*, 2023, vol. 31, no. 21, pp. 35156-35163.
18. Geib N.C. et al. Common pulse retrieval algorithm: a fast and universal method to retrieve ultrashort pulses. *Optica*, 2019, vol. 6, no. 4, pp. 495-505.
19. Smirnov S. et al. Three key regimes of single pulse generation per round trip of all-normal-dispersion fiber lasers mode-locked with nonlinear polarization rotation. *Optics Express*, 2012, vol. 20, no. 24, pp. 27447-27453.
20. López-Ripa M. et al. Coherent artifact and time-dependent polarization in amplified ultrafast erbium-doped fibre lasers. *Optics & Laser Technology*, 2021, vol. 140, no. 14, p. 107018.
21. Kharenko D.S. Python-based optical fibre system simulator, available at: <https://github.com/galilley/pyofss> (accessed 2 September 2023).
22. Bednyakova A.E. et al. Evolution of dissipative solitons in a fiber laser oscillator in the presence of strong Raman scattering. *Optics Express*, 2013, vol. 21, no. 18, pp. 20556-20564.
23. Hollenbeck D., Cantrell C.D. Multiple-vibrational-mode model for fiberoptic Raman gain spectrum and response function. *Journal of the Optical Society of America B*, 2002, vol. 19, no. 12, pp. 2886-2892.

24. Volosi V.M. et al. Issledovanie parametrov dissipativnykh VKR-solitonov, generiruemykh vblizi 1,7 mkm [Study of the parameters of dissipative SRS solitons generated near 1.7 μm]. Foton-ekspress, 2023, vol. 6, no. 190, pp. 259-260.

Сведения об авторах

About the authors

ВОЛОСИ В.М.

e-mail: volosivm@iae.nsk.su

Аспирант Новосибирского государственного университета, инженер-исследователь Лаборатории волоконной оптики (17) Института автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

V.M. VOLOSI

e-mail: volosivm@iae.nsk.su

Postgraduate student, Novosibirsk State University, Research Engineer, Laboratory of Fiber Optics (17), Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk.

ЖДАНОВ И.

e-mail: zhdanovis@iae.nsk.su

Кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник Лаборатории волоконной оптики (17) Института автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

I. ZHDANOV

e-mail: zhdanovis@iae.nsk.su

Ph.D. in Physics and Mathematics, Junior Researcher, Laboratory of Fiber Optics (17), Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk.

КОЛЯДА Н.А.

e-mail: n.koliada@mail.ru

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Лаборатории оптических часов (1.1) Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

N.A. KOLIADA

e-mail: n.koliada@mail.ru

Ph.D. in Physics and Mathematics, Senior Researcher, Laboratory of Optical Clock (1.1), Institute of Laser Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk.

ХАРЕНКО Д.С.

e-mail: kharenko@iae.nsk.su

Кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории волоконной оптики (17) Института автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

D.S. KHARENKO

e-mail: kharenko@iae.nsk.su

Ph.D. in Physics and Mathematics, Leading Researcher, Laboratory of Fiber Optics (17), Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk.

БАБИН С.А.

e-mail: *babin@iae.nsk.su*

S.A. BABIN

e-mail: *babin@iae.nsk.su*

Доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, заведующий Лаборатории волоконной оптики (17) Института автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of Laboratory of Fiber Optics (17), Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk.

Финансирование. Работа была выполнена при финансовой поддержке госзадания ИАиЭ СО РАН (рег. № 121030500067-5).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Получена: 06.10.2023

Одобрена: 09.10.2023

Принята к публикации: 11.10.2023

Financing. The work was carried out with financial support from the state task of the Institute of A&E SB RAS (registration No. 121030500067-5).

Conflict of Interest. The authors declare no conflict of interest.

Author Contributions. All authors have made an equivalent contribution to the publication.

Received: 06/10/2023

Approved: 09/10/2023

Accepted for publication: 11/10/2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Исследование параметров диссипативных ВКР-солитонов, генерируемых вблизи 1,7 мкм / В.М. Волоси, И. Жданов, Н.А. Коляда, Д.С. Харенко, С.А. Бабин // Прикладная фотоника. – 2023. – Т. 10, № 7. – С. 67–80.

Please cite this article in English as: Volosi V.M., Zhdanov I., Koliada N.A., Karenko D.S., Babin S.A. Investigation of Raman dissipative solitons parameters generated near 1.7 μm // Applied photonics, 2023, no. 7, pp. 67-80.